

DEDICATÓRIA

Aos meus pais... por me terem ensinado a não desistir!

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os que de alguma forma contribuíram e tornaram este trabalho possível.

Ao Prof. Doutor Nuno José Ramos Belino pelos conhecimentos, incentivo e empenho na orientação desta dissertação.

À Prof. Doutora Maria José de Oliveira Geraldês pela colaboração, disponibilidade e sugestões transmitidas.

À D. Margarida, ao Sr. Machado e ao Sr. Jorge pelo apoio dado na realização dos ensaios práticos.

À Sandra Marlene Ribeiro Freire Ferreira pelo apoio, estímulo e impressões trocadas ao longo deste percurso.

Ao Eng^o Rui Pereira pela amizade e pelas observações proferidas.

Ao Laboratório de Análises Clínicas do Grupo Clinálise, pela ajuda prestada na realização dos ensaios microbiológicos.

À empresa Assec – Assistência a Empresas e Consultadoria, Lda, por me ter permitido o suporte profissional para enfrentar iniciativas desta índole.

Agradeço ainda:

Aos colegas de trabalho do Grupo Assec que se mantiveram mais próximos e que me foram encorajando para que este esforço fosse possível.

Aos amigos e a todos aqueles que me apoiaram e que partilharam alguns momentos de desânimo e de ansiedade. Obrigada pela força, compreensão, paciência e carinho.

Ao meu irmão pelo incentivo e apoio incondicional, e por ser uma referência na persistência e na luta pelos objectivos.

Aos meus pais por sempre terem acreditado, e acima de tudo, por me terem ensinado a não desistir, onde a determinada altura é o pensamento mais frequente.

A todos, o meu Muito Obrigada!

RESUMO

Com a realização deste trabalho de investigação pretende-se conceber uma estrutura têxtil multifuncional (meia inteligente) para a profilaxia de patologias ulcerosas no pé de pacientes diabéticos.

Como é sabido, a diabetes é uma doença crónica que se caracteriza pelo aumento dos níveis de açúcar (glucose) no sangue. Esta doença tem tido um crescimento exponencial nos últimos anos, para o que têm contribuído as mudanças sociais e culturais da população, a que correspondem estilos de vida pouco saudáveis (maus hábitos alimentares, obesidade, falta de exercício físico/sedentarismo, ...).

Entre os vários problemas causados pela diabetes, a amputação de membros inferiores é uma das principais e terríveis consequências.

De modo a minimizar este problema, procurou-se com esta dissertação desenvolver uma meia antimicrobiana, com propriedades terapêuticas ao nível da prevenção e da cicatrização de úlceras nos membros inferiores.

Simultaneamente, implementaram-se outras propriedades, cuja acção conjugada, contribuisse para o reforço do objectivo, nomeadamente, a sua produção com uma malha com ponto anti-eskorregamento na base, e, com um sistema de união Seamless (ausência de pontos de pressão, isto é, sem elásticos nem costuras), procurando deste modo contribuir para a diminuição dos riscos de potenciais irritações.

Com este objectivo, foram testadas três estruturas têxteis em malha de trama, designadamente, uma estrutura 100% algodão, uma estrutura 100% poliéster e uma estrutura 50%algodão/50%poliéster.

Estas estruturas foram concebidas de modo natural (sem qualquer tipo de aditivo químico) e posteriormente sujeitas à impregnação de um tratamento antimicrobiano baseado num processo sol-gel nanotecnológico, utilizando o agente Silpure FBR-5 Activator (Parte A) funcionalizado com nanopartículas de prata, em combinação com o Silpure FBR-5 (Parte B).

As estruturas com e sem tratamento foram sujeitas a alguns testes, de modo a poder observar e avaliar o seu desempenho em termos das suas propriedades dimensionais, bioactividade e de conforto (permeabilidade ao vapor de água e resistência evaporativa).

Em suma, este trabalho propõe a funcionalização antimicrobiana de malhas acabadas, através de uma tecnologia baseada na nanotecnologia, promovendo ou mantendo simultaneamente desempenhos ao nível da permeabilidade ao vapor de água, respirabilidade e gestão da humidade dos pés.

ABSTRACT

With the accomplishment of this research work we intend to conceive a multi-functional textile structure (smart sock) for the prophylaxis of foot ulcers and all other ulcerous pathologies related with the diabetic foot condition.

As well known, diabetes is a chronic illness that it is characterized by an uncontrolled increase of sugar level (glucose) in the blood stream.

Recently, social and cultural changes combined with a little healthful lifestyle (bad alimentary habits, obesity and lack of physical exercise ...) imposed an exponential growth of this disease.

Among all the serious health problems caused by this sickness, inferior member amputation is one of the most-if not the most traumatic and severe consequence.

In order to minimize this trend, the presented thesis aims to develop an antimicrobial smart sock, with therapeutical properties to prevent and accelerate ulcer sores treatment.

For this purpose a single structure with three different textiles compositions (100% cotton, 100% bioactive polyester and 50% cotton/50% bioactive polyester) are going to be tested.

All these structures will be submitted to an antibacterial nanocoating finishing treatment process using Silpure FBR-5 (silver nanoparticles).

Studied samples will be tested in order evaluate the antibacterial performance and other properties such as: washing resistance, pilling resistance, mechanical behavior and thermophysiological comfort properties.

Simultaneously, other innovations and technical improvements are thought to be inserted, namely, anti-slipping patchworks, seamless unions and the absence of pressure points (without rubber bands or sewings) in order to achieve a lower risks of potential irritations and contribute to minimize the diabetes-related amputations.

Mainly with this research work we intend to use textile nanotechnology and textile engineering techniques to improve diabetic's life quality.

PALAVRAS-CHAVE

- Diabetes,
- Malhas de trama;
- Nanopartículas de prata;
- Nanotecnologia;
- Pé diabético,
- Prevenção de úlceras;
- Tecnologia Seamless;
- Têxteis inteligentes;
- Têxteis médicos;
- Têxteis técnicos;

KEYWORDS

- Diabetes;
- Weft knits;
- Silver nanoparticles;
- Nanotechnology;
- Diabetic foot;
- Ulcers prevention;
- Seamless technology;
- Smart textiles;
- Medical textiles;
- Technical textiles.

Índice Geral

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO DO TRABALHO.....	1
1.2 OBJECTIVOS GERAIS	2
1.3 OBJECTIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4 MOTIVAÇÃO.....	3
1.5 METODOLOGIA	3
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
CAPÍTULO II – ESTADO DA ARTE	6
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA: PERSPECTIVA CLÍNICA E DE SAÚDE PÚBLICA.....	6
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA: EVOLUÇÃO DA DOENÇA E PERSPECTIVA ECONÓMICA	8
2.3 PÉ DIABÉTICO – PERSPECTIVA ECONÓMICA E SOCIAL.....	11
2.4 FISIOPATOLOGIA DO PÉ DIABÉTICO	13
2.4.1 <i>Patogénese e tratamento das úlceras diabéticas</i>	13
2.4.2 <i>Prevenção de Úlceras no Pé Diabético – a importância das meias</i>	17
2.4.3 <i>Pé diabético – artropatia de Charcot</i>	23
2.5 OS TÊXTEIS FUNCIONAIS.....	25
2.5.1 <i>Classificação dos têxteis funcionais</i>	25
2.5.2 <i>Processos de funcionalização</i>	28
2.5.3 <i>Importância dos acabamentos antimicrobianos</i>	30
2.5.3.1 <i>Propriedades de um acabamento antimicrobiano</i>	33
2.5.3.2 <i>Compostos e fibras antimicrobianas para têxteis funcionais – Alguns exemplos</i>	33
2.5.3.3 <i>Acabamentos antimicrobianos e tecnologias têxteis em benefício dos diabéticos</i>	42
CAPÍTULO III – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	50
3.1 CONCEITOS DE TECNOLOGIA DE MALHAS	50
3.1.1 <i>Introdução</i>	50
3.1.2 <i>Estruturas da indústria de malhas de trama</i>	50
3.1.3 <i>Comparação entre tecidos e malhas</i>	51
3.1.4 <i>Classificação sistemática dos teares de malha de trama</i>	53
3.1.5 <i>Requisitos de qualidade nos fios para malhas de trama</i>	53
3.1.6 <i>A tecnologia de malhas seamless</i>	54
3.1.6.1 <i>Potenciais benefícios da tecnologia seamless</i>	54
3.2 CONCEITOS DE MICROBIOLOGIA.....	55
3.2.1 <i>Métodos de aplicação de compostos antimicrobianos nos materiais têxteis</i>	57
3.2.2 <i>Mecanismo da actividade antimicrobiana</i>	59

3.2.3	<i>Avaliação da actividade antimicrobiana</i>	61
3.3	CONCEITOS DE NANOTECNOLOGIA.....	68
3.3.1	<i>Nanotêxteis</i>	72
3.3.1.1	OBTENÇÃO DE FUNCIONALIDADES COM INSPIRAÇÃO NA NATUREZA	74
3.3.1.2	NANOACABAMENTOS ANTI-PÓLEN	77
3.3.1.3	NANOACABAMENTOS ANTI-UV	77
3.3.1.4	NANOACABAMENTOS ANTI-MANCHAS (Resists spills)	77
3.3.1.5	NANOACABAMENTOS FOTOCATALÍTICOS	78
3.3.1.6	NANOACABAMENTOS ANTI-ODOR	79
3.3.1.7	NANOACABAMENTOS ANTIMICROBIANOS.....	79
3.3.2	<i>Nanoacabamentos da próxima geração</i>	81
3.3.3	<i>Vantagens dos nanoacabamentos nos substratos têxteis</i>	83
3.4	TECNOLOGIA DOS IÕES DE PRATA.....	83
3.5	NANOPARTÍCULAS DE PRATA.....	87
3.5.1	<i>Obtenção de nanopartículas de prata</i>	89
3.5.2	<i>Processo e tecnologia de aplicação de nanopartículas em substratos têxteis pelo processo sol-gel</i>	91
3.5.3	<i>Riscos da nanotecnologia na saúde humana</i>	93
3.6	NOÇÕES DE CONFORTO	94
3.6.1	<i>Conceitos de fisiologia</i>	96
3.7	PROPRIEDADES FISIOLÓGICAS.....	99
3.7.1	<i>Permeabilidade ao vapor de água</i>	99
3.7.2	<i>Resistência Evaporativa</i>	100
	CAPITULO IV - DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	101
4.1	PLANEAMENTO E CONCEPÇÃO EXPERIMENTAL	101
4.2	SELECÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	102
4.2.1	<i>Caracterização dimensional das amostras</i>	102
4.2.1.1	Amostras não tratadas.....	102
4.2.1.2	Amostras tratadas com tratamento antimicrobiano	104
4.2.1.3	Densidade	106
4.3	RESULTADOS OBTIDOS	106
4.3.1	<i>Avaliação das propriedades antimicrobianas</i>	106
4.3.2	<i>Avaliação das propriedades fisiológicas</i>	109
4.3.2.1	Permeabilidade ao vapor de água	109
4.3.2.2	Resistência evaporativa	111
4.3.3	<i>Avaliação das propriedades mecânicas</i>	111
4.3.3.1	Resistência ao pilling.....	111
4.3.3.2	Resistência à abrasão.....	112
4.3.3.3	Resistência à tracção.....	113
	CAPÍTULO V – ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES	118

CAPITULO VI – PERSPECTIVAS FUTURAS	121
BIBLIOGRAFIA	123
WEBGRAFIA	130
ANEXOS	132

Índice de Gráficos

GRÁFICO 1: PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA.....	110
GRÁFICO 2: RESISTÊNCIA EVAPORATIVA	111

Índice de Figuras

FIG. 1: ESTIMATIVA DA EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE PORTADORES DE DIABETES NO PERÍODO DE 2000 A 2030, EM NÍVEL MUNDIAL E REGIONAL.	9
FIG. 2: EPIDEMIA DA DIABETES: PROJEÇÕES GLOBAIS PARA 2007-2025	10
FIG. 3: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA SINTÉTICA DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS NA PATOGÉNESE DAS ÚLCERAS DIABÉTICAS	13
FIG. 4: PÉ NEUROPÁTICO	14
FIG. 5: PÉ COM VASCULOPATIA	15
FIG. 6: ÚLCERA DO HALLUX, POR ABRASÃO, EM DOENTE COM NEUROPATIA DIABÉTICA.....	20
FIG. 7: ÚLCERA DO CALCANHAR, APÓS DESBRIDAMENTO, CAUSADA POR PRESSÃO NO SAPATO.....	20
FIG. 8: ÁREAS DE PRESSÃO PLANTAR MAIS FREQUENTES	21
FIG. 9: FASES DE FORMAÇÃO DA ÚLCERA	22
FIG. 10: ARTROPATIA DE CHARCOT	24
FIG. 11: IÕES DE PRATA INTEGRADOS NA FIBRA	35
FIG. 12 - ESQUEMA DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA FIBRA TREVIRA BIOACTIVE	36
FIG. 13: STAPHYLOCOCCUS SP. NA PELE HUMANA	42
FIG. 14: ESPÉCIES BACTERIANAS ISOLADAS DE ÚLCERAS INFECTADAS EM PACIENTES DIABÉTICOS	43
FIG. 15: ARQUITECTURA DE ROUPA INTERIOR PARA PACIENTES DIABÉTICOS.....	49
FIG. 16: ESTRUTURA DA INDÚSTRIA DE MALHAS DE TRAMA	51
FIG. 17: CLASSIFICAÇÃO SISTEMÁTICA DAS MÁQUINAS DE MALHAS DE TRAMA.....	53
FIG. 18. MECANISMO DE ACÇÃO DOS ANTIMICROBIANOS.....	60
FIG. 19: DIFERENÇA ENTRE UM TECIDO SEM TRATAMENTO E UM TECIDO COM ACTIVIDADE ANTIBACTERIANA, SEGUNDO A NP EN ISO 20645:2005	63
FIG. 20: DIFERENÇA ENTRE UM TECIDO SEM TRATAMENTO E UM TECIDO COM ACTIVIDADE ANTIBACTERIANA, SEGUNDO O AATCC TEST METHOD 147-2004	64
FIG. 21: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO MÉTODO AATCC 100-2004.....	65
FIG. 22 - COMPARAÇÃO DE ESCALA EM NANÓMETROS.....	68
FIG. 23: REPRESENTAÇÃO FIGURATIVA DA ESCALA NANO	69
FIG. 24 – CONVERGÊNCIAS TECNOLÓGICAS NA NANOESCALA	72
FIG. 25: NANOTUBOS DE CARBONO	74
FIG. 26: EFEITO LOTUS	75
FIG. 27: EFEITO AUTO-LIMPANTE.....	75
FIG. 28: EFEITO ESCAMA DE TUBARÃO	77
FIG. 29: PRINCÍPIO DO EFEITO FOTOCATALÍTICO PROMOVIDO PELAS PARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO	78
FIG. 30: MECANISMO DE ACÇÃO DE UM AGENTE BACTERICIDA APLICADO POR IMPREGNAÇÃO NO TECIDO.....	79
FIG. 31: DIFERENÇA DE ÁREA DE SUPERFÍCIE ENTRE AS MICROPARTÍCULAS E AS NANOPARTÍCULAS	80
FIG. 32: OPORTUNIDADES CRESCENTES PARA A NANOTECNOLOGIA NA ÁREA TÊXTIL.....	82
FIG. 33: MECANISMO DE ACÇÃO DA PRATA	85
FIG. 34: NANOTECNOLOGIA E SUPERFÍCIE ESPECÍFICA	87

FIG. 35: NANOFABRICAÇÃO	91
FIG. 36: SISTEMA TÉRMICO HOMEM – VESTUÁRIO – AMBIENTE	96
FIG. 37: EQUIPAMENTO TRICOLAB	101
FIG. 38: AMOSTRA A SER IMPREGNADA COM TRATAMENTO ANTIMICROBIANO	104
FIG. 39: AMOSTRA APÓS TRATAMENTO ANTIMICROBIANO.....	105
FIG. 40: RESULTADO DO TRATAMENTO ANTIMICROBIANO DAS MALHAS ESTUDADAS.....	109

Índice de Quadros

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO FISIOPATOLÓGICA DO PÉ DIABÉTICO.....	16
QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO DE WAGNER PARA AS LESÕES DO PÉ DIABÉTICO, 1981	17
QUADRO 3: PROPRIEDADES DE VALORIZAÇÃO ESTÉTICA E CONFORTO.....	26
QUADRO 4: PROPRIEDADES DE PROTECÇÃO	27
QUADRO 5: PROPRIEDADES DE FÁCIL CUIDADO.....	27
QUADRO 6: PROCESSOS DE FUNCIONALIZAÇÃO	28
QUADRO 7: COMPOSTOS ANTIMICROBIANOS DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE	40
QUADRO 8: FIBRAS ANTIMICROBIANAS DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE	41
QUADRO 9: REQUISITOS DOS FIOS PARA A FABRICAÇÃO DE MEIAS	54
QUADRO 10: AVALIAÇÃO DA ACTIVIDADE ANTIMICROBIANA (ISO 20645:2005)	63
QUADRO 11: EXEMPLOS DE TESTES PARA DETERMINAÇÃO DA ACTIVIDADE MICROBIANA.....	67
QUADRO 12: CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL DA MALHA 100% ALGODÃO SEM TRATAMENTO	103
QUADRO 13: CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL DA MALHA 50% ALGODÃO/50% POLIÉSTER SEM TRATAMENTO	103
QUADRO 14: CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL DA MALHA 100% POLIÉSTER SEM TRATAMENTO	103
QUADRO 15: CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL DA MALHA 100% ALGODÃO COM TRATAMENTO.....	105
QUADRO 16: CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL DA MALHA 50% ALGODÃO/50% POLIÉSTER COM TRATAMENTO.....	105
QUADRO 17: CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL DA MALHA 100% POLIÉSTER COM TRATAMENTO.....	106
QUADRO 18: RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ANTIBACTERIANO DA AMOSTRA 100% ALGODÃO ..	107
QUADRO 19: : RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ANTIMICROBIANO DA AMOSTRA 100% POLIÉSTER	107
QUADRO 20: : RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ANTIMICROBIANO DA AMOSTRA 50%ALGODÃO/50%POLIÉSTER	108
QUADRO 21: RESISTÊNCIA AO PILLING DAS AMOSTRAS	112
QUADRO 22: RESISTÊNCIA À ABRASÃO DAS AMOSTRAS.....	113
QUADRO 23: RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DA AMOSTRA 100% POLIÉSTER.....	114
QUADRO 24: RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DA AMOSTRA 100% ALGODÃO.....	115
QUADRO 25: RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DA AMOSTRA 50% ALGODÃO/50%POLIÉSTER.....	116

Lista de Abreviaturas

AATCC – American Association of Textile Chemists and Colorists

ABQCT - Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis

APDP - Associação Protectora dos Diabéticos de Portugal

ASTM – American Society for Testing and Methods

AVC - Acidentes Vasculares Cerebrais

CIM - Concentração Inibitória Mínima

Citeve - Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal

DGS – Direcção Geral de Saúde

DNA - Ácido desoxirribonucleico

E.coli – Escherichia coli

EPA - Environmental Protection Agency

EUA – Estados Unidos da América

H.I.V. - Instituto de Higiene do Vestuário

IDF - International Diabetes Federation

ISO – American Association Standardization Organisation

IWGDF - International World Group of Diabetic Foot

JIS – Japan International Standard

LEDs – Lesões Elementares Dermatológicas

OMS - Organização Mundial de Saúde

PNPCD - Programa Nacional de Prevenção e Controlo da Diabetes

RNA - Ácido Ribonucleico

S.aureus – Staphylococcus aureus

S.A.N. - Self Assembled Nanolayer

SNS – Serviço Nacional de Saúde

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do trabalho

“A Diabetes Mellitus é um grupo de doenças metabólicas caracterizado por hiperglicémia, resultante de defeitos na secreção da insulina, da ação da insulina, ou ambas. A hiperglicémia crónica da Diabetes associa-se a lesão a longo prazo, disfunção e insuficiência de vários órgãos, em particular olhos, rins, nervos, coração e vasos sanguíneos”, segundo a American Diabetes Association (*Diabetes Care*, 2007).

Como consequências muito graves da diabetes não controlada podem citar-se a hiperglicémia com cetoacidose ou a síndrome hiperosmolar não cetótica. Como consequências tardias podem referir-se retinopatia com potencial perda da visão, a nefropatia que conduz à insuficiência renal, as neuropatias como a neuropatia periférica com riscos de úlceras no pé, com amputações e osteoartropatia de Charcot e a neuropatia autonómica, responsável por sintomas gastro-intestinais, genito-urinários e cardiovasculares, bem como a disfunção sexual. (*Pincinato*, 2003)

Estima-se que em Portugal, segundo dados da Associação Protectora dos Diabéticos, existam aproximadamente um milhão de diabéticos (cerca de 10% da população portuguesa), dos quais 15% apresentam condições favoráveis ao desenvolvimento de lesões nos pés.

O pé diabético, definido pela OMS (Organização Mundial de Saúde) como a “infecção, ulceração e/ou destruição de tecidos profundos associados com anormalidades neurológicas e vários graus de doença vascular periférica no membro inferior”, é a consequência mais frequente e grave da diabetes.

São definidos três tipos de pé diabético, designadamente, o pé neuropático (ou pé quente: indica uma redução/ausência de sensibilidade e boa circulação sanguínea), o pé isquémico (ou pé frio: indica uma circulação precária com alta sensibilidade, tornando-o vulnerável a traumatismos), e o pé neuroisquémico (simultaneamente neuropático e isquémico), sendo que dois terços das lesões aparecem em pés neuropáticos e, 80% das úlceras neuropáticas localizam-se no antepé a nível plantar, onde as alterações biomecânicas (joanetes, deformações dos dedos, ...) são as causas principais da hiperpressão.

O problema do pé diabético é de facto a principal causa de amputação não traumática, sendo que, a maioria destas amputações é precedida por úlceras.

Quer as úlceras quer as amputações têm um impacto extremamente negativo na qualidade de vida dos doentes, levando ao isolamento social, à dependência de outros, ao stress, a reformas precoces, etc.

Contudo, a adopção de medidas de prevenção adequadas pode evitar ou minimizar o problema do pé diabético.

Entre muitas das medidas apontadas para prevenir e limitar a formação de úlceras, destaca-se o uso de meias com as costuras para fora ou, de preferência, sem costuras (seamless), de modo a privilegiar a ausência de pontos de pressão.

É ao nível desta intervenção preventiva que o presente trabalho pretende dar o seu contributo, associando as vantagens das malhas seamless, às potencialidades da prata como agente antimicrobiano e simultaneamente, como forte agente no tratamento de feridas e de infecções.

Pretende-se deste modo o estudo de estruturas têxteis em malha, funcionalizadas com um nanoacabamento antimicrobiano, conferido pela impregnação de nanopartículas de prata através de um processo sol-gel, para deste modo contribuir para a produção de meias, que auxiliem na prevenção e cicatrização de úlceras nos membros inferiores dos diabéticos.

1.2 Objectivos gerais

O grande objectivo do presente trabalho é o desenvolvimento de uma meia “inteligente” para a prevenção de lesões ulcerosas nos membros inferiores em pacientes diabéticos, utilizando malhas de trama seamless, funcionalizadas com nanopartículas de prata. Procura-se uma solução tecnológica que pelo seu reduzido custo permita alcançar grande parte da população afectada por esta doença, evitando que o factor preço seja sinónimo de impossibilidade de realização de tratamento.

1.3 Objectivos específicos

O objectivo específico passa pelo estudo das propriedades funcionais em termos antimicrobianos, (após aplicação do agente Silpure FBR-5 Activator (Parte A) funcionalizado com nanopartículas de prata, em combinação com o Silpure FBR-5 (Parte B)), de três estruturas têxteis de malha de trama, em termos de prevenção e cicatrização de úlceras no pé diabético, nomeadamente estruturas 100% algodão; 100% poliéster; 50%algodão/50% poliéster.

1.4 Motivação

Espera-se que este trabalho contribua para viabilizar alguns dos esforços científicos e financeiros que vêm sendo desenvolvidos na investigação da diabetes e das soluções técnicas preventivas de possíveis amputações dos membros inferiores de um elevado número de doentes em todo o mundo, visto que essa é sem dúvida uma experiência de vida traumatizante e incapacitante que está ao alcance do Homem resolver.

Por outro lado, pelo facto de profissionalmente estar um pouco afastada da área de formação académica (Engenharia Têxtil – ramo produção), com este trabalho, colocava-se a oportunidade de me reaproximar, e acima de tudo aprofundar/desenvolver novos conhecimentos e novas tendências na área têxtil, tirando igualmente proveito de uma experiência de vários anos numa actividade profissional intrinsecamente ligada à investigação e à procura de soluções inovadoras para o mundo empresarial.

Este desafio teve ainda uma razão não menos importante, nomeadamente, a proximidade ao tema por razões familiares.

1.5 Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho envolveu numa primeira fase a definição do tema, dos objectivos pretendidos e da estrutura da presente tese.

Posteriormente, realizou-se uma pesquisa do *state of the art*, de modo a conhecer os principais avanços ao nível da concepção de meias funcionais e outras soluções com vista ao tratamento do pé diabético.

Seguidamente procedeu-se à selecção do tipo de fibras a analisar, à concepção das amostras a utilizar na investigação prática e à avaliação do seu desempenho para o fim pretendido.

Por último foram retiradas conclusões quanto aos avanços conseguidos e a potenciais desenvolvimentos a levar a cabo neste campo de investigação.

1.6 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, subdivididos em vários pontos.

De forma breve, segue-se uma breve apresentação do conteúdo de cada capítulo:

Capítulo I - Introdução

Neste capítulo apresentam-se os objectivos a atingir, as razões que levaram à realização do trabalho, a metodologia adoptada e a estrutura da presente tese.

Capítulo II – Estado da arte

Apresenta-se neste capítulo a perspectiva clínica e de saúde pública da diabetes, bem como a evolução da doença a nível nacional e internacional e o impacto sócio-económico da mesma.

Faz-se ainda uma análise à perspectiva económica e social de uma das consequências mais comum da diabetes - o pé diabético, fazendo também uma análise à fisiopatologia do pé diabético, à prevenção de úlceras no pé diabético, destacando-se a importância da meia como instrumento de prevenção. Faz-se também uma caracterização da artropatia de Charcot.

Neste segundo capítulo efectua-se igualmente uma abordagem em termos de desenvolvimentos de têxteis funcionais, assim como a processos de funcionalização.

Tendo em consideração o objectivo desta dissertação, é ainda analisada a importância dos acabamentos antimicrobianos e das suas propriedades, sendo simultaneamente apresentados alguns compostos e fibras antimicrobianas existentes no mercado, apresentando algumas tecnologias têxteis antimicrobianas que têm sido desenvolvidas em benefício dos diabéticos, tendo em consideração aspectos como: características, funcionalidades e marcas comerciais.

Capítulo III – Fundamentação teórica

Este capítulo fundamenta teoricamente o trabalho desenvolvido, apresentando de forma resumida alguns conceitos sobre malhas de trama e seamless, assim como a conceitos de microbiologia.

São também brevemente descritos os métodos de aplicação de compostos antimicrobianos nos materiais têxteis, o mecanismo de funcionamento da actividade antimicrobiana e a avaliação dessa actividade.

Num outro ponto são referidos conceitos gerais de nanotecnologia, e caracterizados alguns nanoacabamentos aplicados no sector têxtil (nanotêxteis).

É apresentada a tecnologia dos iões de prata e das nanopartículas de prata, fazendo referências às principais aplicações e vantagens que lhe estão associadas.

É ainda caracterizado o processo de aplicação de nanopartículas em substratos têxteis pelo processo sol-gel.

Por fim é feita uma referência a conceitos de fisiologia, noções de conforto e propriedades fisiológicas.

Capítulo IV – Desenvolvimento experimental

São apresentados os tipos de fibras utilizadas e descreve-se o trabalho realizado na análise do desempenho de estruturas multifuncionais (malhas de trama), incluindo a avaliação das propriedades dimensionais, a avaliação da funcionalidade das fibras/malhas em termos antimicrobianos e a avaliação dos parâmetros de conforto.

Capítulo V – Análise de resultados e conclusões

Neste capítulo procede-se à apresentação dos dados e à sua análise crítica, apresentando por fim as conclusões obtidas.

Capítulo VI – Perspectivas futuras

Neste último capítulo apresentam-se as perspectivas futuras relativamente à concepção de meias “inteligentes”, bem como algumas recomendações.

CAPÍTULO II – ESTADO DA ARTE

2.1 Contextualização do tema: Perspectiva clínica e de saúde pública

A diabetes mellitus é considerada uma das principais doenças crónicas no mundo devido à sua alta prevalência, elevadas taxas de mortalidade e morbilidade (*Chacra, 1994*).

A declaração das Américas sobre diabetes considera a doença como uma pandemia de proporções crescentes.

Na perspectiva do Programa Nacional de Prevenção e Controlo da Diabetes (*PNPCD, 2007*), a Diabetes é das principais causas de morbilidade crónica e de perda de qualidade de vida, estando sendo, segundo o mesmo documento, expectável o seu aumento nas próximas décadas, encarando-se a diabetes “como um dos problemas de saúde pública de elevada magnitude sendo previsível que constitua uma das principais causas de morbilidade e incapacidade total ou parcial durante o século XXI.”

Trata-se de uma doença que atinge pessoas de todas as idades e níveis socioeconómicos, sendo que o número de diabéticos não diagnosticados e mal controlados é expressivamente elevado.

Problemas consequentes como a nefropatia, a retinopatia, as doenças cardiovasculares (sendo o enfarte do miocárdio o mais comum), os acidentes vasculares cerebrais e os problemas vasculares a nível dos membros inferiores, são as complicações que apresentam os maiores encargos económicos e o maior impacto em termos de qualidade de vida dos doentes.

Os custos de uma determinada doença podem ser divididos em custos directos, indirectos e intangíveis. Os custos directos são os que resultam directamente das intervenções e são divididos em médicos (as diárias hospitalares, os exames complementares, os medicamentos, as próteses e órteses, honorários médicos) e não-médicos (o transporte do paciente ao hospital, os honorários de contratação de um “cuidador” temporário para o período de convalescença do paciente).

Os custos indirectos, também chamados de custos sociais, resultam da perda de produtividade em função da doença, incapacidade ou morte prematura. Incluem-se neste caso os custos relacionados com a falta de produtividade de um trabalhador que se encontra internado ou em consulta ambulatória e o do acompanhante do paciente, temporariamente impedido de trabalhar.

Os custos intangíveis são de difícil mensuração e incluem, entre outros, o custo da sobrecarga psicológica do paciente e o custo do prejuízo de sua qualidade de vida e bem-estar.

Assim, além dos custos directos da doença, a diabetes apresenta elevados custos indirectos para a sociedade e para o indivíduo, tais como: morte prematura, incapacidade, absentismo, reformas precoces, desemprego, entre outros.

O aumento dos níveis de incapacidade à medida que a doença avança, com a consequente maior utilização dos serviços de saúde, contribuem significativamente para o aumento dos custos.

Existe de facto um enorme impacto económico e social relacionado com a diabetes. Verifica-se que, mais de 80% dos custos mundiais para tratamento da diabetes são provenientes dos países economicamente mais desenvolvidos, e não dos mais pobres que, em breve, concentrarão 80% das pessoas portadoras da diabetes no mundo. Os Estados Unidos, onde 8% da população é diabética, são responsáveis por mais de 50% dos gastos mundiais com o tratamento dessa doença. (*Diabetenet - Diabetes: Uma epidemia mundial, 11/9/2008*)

Já os países da Europa são responsáveis por mais de um quarto dos gastos com o tratamento da diabetes e o restante dos países industrializados, como a Austrália e o Japão, respondem pela maior parte dos recursos remanescentes. (*Diabetenet - Diabetes: Uma epidemia mundial, 11/9/2008*)

Nos países mais pobres do mundo, até mesmo os gastos necessários para garantir o fornecimento dos medicamentos mais baratos para diabetes e que salvam vidas são insuficientes. Na América Latina, as famílias pagam, do próprio bolso, entre 40 e 60% do tratamento da diabetes. (*Diabetenet - Diabetes: Uma epidemia mundial, 11/9/2008*)

Importa também mencionar que, segundo dados da Federação Internacional de Diabetes, enquanto nos países desenvolvidos a prevalência da diabetes é maior na população mais idosa, nos países em desenvolvimento a prevalência está a aumentar na população comparativamente mais jovem, em fase produtiva. (*Disponível em: <<http://www.idf.org>>*)

Em Portugal, com o objectivo de desenvolver e implementar programas de controlo da diabetes, a 1 de Abril de 2008 entraram em vigor dois Protocolos da Diabetes, assinados a 27/03/2008, nomeadamente:

- O Protocolo dos Dispositivos Médicos, celebrado entre o Ministério da Saúde, a Associação Portuguesa da Indústria Farmacêutica, a Associação Nacional dos Importadores/Armazenistas e

Retalhistas de Produtos Químicos e Farmacêuticos, a Associação de Grossistas de Produtos Químicos e Farmacêuticos, a Federação de Cooperativas de Distribuição Farmacêutica, a Associação Nacional de Farmácias, a Farmacope – Cooperativa Nacional das Farmácias e a Associação de Farmácias de Portugal. Este Protocolo abrange: a definição e estabilização dos preços das tiras-teste para determinação de glicemia, glicosúria e cetonúria, das agulhas, das seringas e das lancetas destinadas aos diabéticos, durante o seu período de vigência; e a definição do circuito organizativo de distribuição, dispensa e facturação dos dispositivos médicos abrangidos pelo presente Protocolo em termos análogos ao do medicamento;

- O Protocolo dos Cuidados Farmacêuticos, celebrado entre o Ministério da Saúde, a Ordem dos Farmacêuticos, a Associação Nacional das Farmácias e a Associação de Farmácias de Portugal. Este Protocolo define a intervenção farmacêutica no que se refere: à identificação de diabéticos não controlados e/ou pessoas suspeitas de diabetes, com referência à consulta médica; e à prestação de cuidados farmacêuticos às pessoas com diabetes beneficiárias do SNS.

O combate à diabetes em Portugal deve ser feito com um reforço da capacidade de intervenção e, por outro lado, continuando a aposta na prevenção.

A União Europeia, onde se estima que haja um aumento superior a 19,3% de diabéticos em 2025 (*IDF Diabetes Atlas - 3ª Edição de 2006*), também já definiu algumas medidas prioritárias para se desenharem estratégias de prevenção na população e nos grupos de alto risco, planos nacionais de saúde, aumento de verbas para investigação, entre outras medidas.

2.2 Contextualização do tema: Evolução da doença e perspectiva económica

A diabetes é já considerada um dos maiores flagelos da saúde global, com graves e evidentes repercussões humanas, sociais e económicas.

A maioria das complicações inerentes à doença é altamente incapacitante para a realização das actividades diárias e produtivas, comprometendo a qualidade de vida e o tratamento das mesmas e é extremamente oneroso para o sistema de saúde (*Vinikor, 1994; Dagogo-Jack, 1995*).

Segundo dados da International Diabetes Federation (*IDF Diabetes Atlas - 3ª Edição de 2006*), mais de 246 milhões de pessoas em todo o mundo, o equivalente a 6% da população global, têm a doença. Dados da Organização Mundial de Saúde (OMS) estimam que, em 2007, 3,8 milhões de mortes foram causadas pela diabetes. De acordo com projecções da IDF, se não forem tomadas urgentemente medidas para impedir o seu avanço, o total de diabéticos chegará a 380 milhões em

menos de 20 anos e as mortes crescerão mais de 50% nos próximos 10 anos. (*Diabetes Impact Survey - estudo encomendado pela Merck Sharp & Dohme, 2008*)

A Federação Internacional de Diabetes estima de facto que em 2025 deverá haver 380 milhões de diabéticos em todo o mundo. Trata-se de um aumento que representa mais de 55% de pessoas com diabetes entre os 20 e os 79 anos. Destes, pelo menos 25% terão algum tipo de complicações nos pés. (*IDF Diabetes Atlas - 3ª Edição de 2006*)

Segundo a OMS, o crescimento mundial previsto é de 114% em 2030, em relação à população diabética existente no ano 2000.

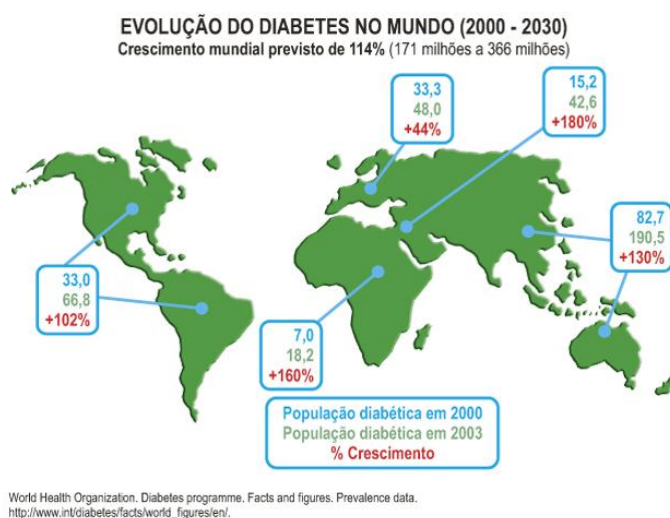


Fig. 1: Estimativa da evolução do número de portadores de diabetes no período de 2000 a 2030, em nível mundial e regional.
(Fonte: Sociedade Brasileira de Diabetes, 2007)

Também segundo a mesma fonte, perspectiva-se que em 2025 haja um aumento na incidência da doença da ordem de 20% na Europa, 40% na América do Norte, 50% na região oeste do Pacífico e de 80% na África, região leste do Mediterrâneo, Oriente Médio e sudoeste da Ásia. As regiões onde se espera maior aumento são América do Sul e América Central, com um crescimento estimado de 102%.

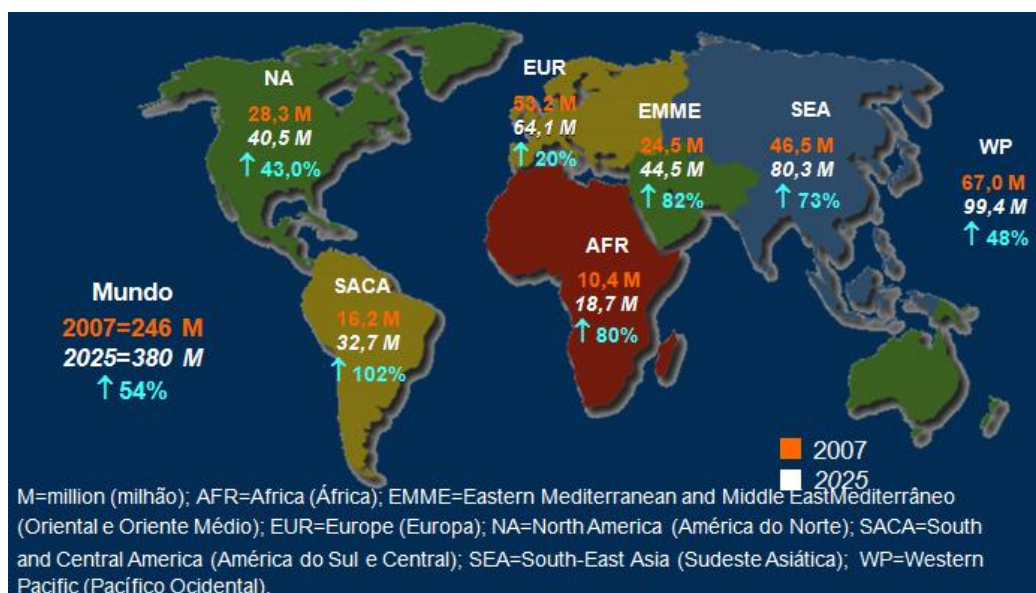


Fig. 2: Epidemia da diabetes: Projeções globais para 2007-2025 (Fonte: Diabetes Atlas Committee. Diabetes Atlas. 3rd ed. IDF. 2007)

Relativamente a Portugal, entre 2005 e 2006, a incidência da doença era de 6,5%, enquanto que em 1998 a diabetes afectava apenas 4,7% da população. Hoje, e segundo o primeiro Estudo Nacional de Prevalência da Diabetes em Portugal, desenvolvido entre Janeiro de 2008 e Janeiro de 2009, promovido pela Sociedade Portuguesa de Diabetologia e a Associação Protectora dos Diabéticos de Portugal (APDP) e integrado no Programa Nacional de Prevenção e Controlo da Diabetes da Direcção-Geral da Saúde, mais de 900 mil pessoas são actualmente diabéticas, correspondendo a cerca de 11,7% da população nacional (corresponde a uma aumento de 5,2% face a 2006), sendo que se estima que 5,1% dos diabéticos ainda não estão diagnosticados.

Reforça-se, assim, a convicção de uma tendência crescente da prevalência da diabetes em Portugal, estimada pela IDF para 2025 em cerca de 9,8%, a qual já foi entretanto ultrapassada.

Segundo o mesmo estudo, dos 905.035 diabéticos portugueses, a prevalência da doença é superior na população masculina (14,2%). São também os mais velhos quem apresenta o maior número de casos. Mais de um quarto da população portuguesa entre os 60 e os 79 anos é, actualmente, diabética, isto é 26,3% dos idosos nesta faixa etária, o que corresponde a 497485 pessoas. Valores mais baixos registam as faixas etárias entre os 20 - 39 anos (2,4%) e os 40 - 59 anos (12,6%).

Ainda segundo o mesmo estudo, o arquipélago dos Açores foi a região que registou os valores mais elevados do País, com uma prevalência de 14,3%, dos quais 9,2% já diagnosticados e 5,1% por diagnosticar. A Região Autónoma da Madeira, por outro lado, foi a que apresentou os valores mais baixos, ligeiramente inferiores à média nacional, correspondendo a 10,9% da população com diabetes, com 7,4% de casos previamente diagnosticados e 3,4% não diagnosticados.

Esta doença é já a quarta principal causa de morte na maior parte dos países desenvolvidos e, segundo dados da OMS em 2006, a cada 10 segundos morre uma pessoa vítima da doença. Ainda segundo dados da Organização Mundial de Saúde, esta patologia pode conduzir a uma redução da esperança média de vida, pela primeira vez em 200 anos.

Actualmente, a diabetes já é apontada como a primeira causa de insuficiência renal, a primeira causa de cegueira, a primeira causa de amputações não traumáticas, para além de aumentar a incidência de doenças cardiovasculares e os Acidentes Vasculares Cerebrais (AVC), as lesões neurológicas, com óbvias consequências económicas e funcionais dos sistemas de Saúde dos países.

2.3 Pé diabético – Perspectiva económica e social

Uma das complicações crónicas mais dramáticas e mais comum da diabetes é o pé diabético, sendo responsável por um número elevado de amputações.

Na conferência de Saint Vicent, realizada na Europa, em 1990, determinou-se como meta diminuir em 50% os índices de amputação em pacientes diabéticos, até 2010. (*Muhlhauser I et al, 1992*)

Em 2001, a Direcção Geral de Saúde referia que, cerca de 15% da população diabética tem condições favoráveis ao aparecimento de patologias nos pés, sendo o pé diabético responsável por 40 a 60% de todas as amputações não traumáticas. (*DGS, 2001*)

Um estudo mais recente, refere que, em Portugal existem aproximadamente 70.000 amputados, sendo que, 85% das amputações resultam da Diabetes Mellitus e/ou doenças vasculares. (Fonte: *Serra, L. A, 2008*).

Os factores de risco para a úlcera do pé são a afectação dos nervos (neuropatia periférica) e artérias dos membros inferiores (doença arterial periférica), associados a deformidades dos pés (joanetes, calos, dedos em garra, unhas muito desenvolvidas). Associar os factores de risco referidos à utilização de calçado inadequado potencia o aparecimento e manutenção de uma úlcera. Se houver simultaneamente má irrigação sanguínea, aumenta o risco de não ocorrer o encerramento da úlcera e, conseqüentemente, o risco de desenvolver uma infecção grave conduzindo a uma eventual amputação.

Dados da Direcção Geral de Saúde referem que, sempre que ocorre a amputação de um dos membros, ocorre um esforço acrescido do membro remanescente, que passará a apresentar

problemas em apenas ano e meio quer se tenha ou não provido de prótese o membro amputado. Decorridos cinco anos sobre a primeira amputação, mais de metade dos doentes já terão sofrido amputação contralateral

A mortalidade, após amputação, é igualmente elevada, sendo que ao ano varia de 11% a 41% dos intervencionados, aos 3 anos de 20% a 50% e aos 5 anos de 39% a 68%. A morte ocorre pela coexistência de morbilidade múltipla, nomeadamente cardíaca e renal. (MJF 2000, 276. *Diabetes Mellitus*)

O pé diabético é também o principal responsável pelo internamento hospitalar de pacientes diabéticos, correspondendo a cerca de 6% a 20% em Portugal. (MJF 2000, 276. *Diabetes Mellitus*)

Nos EUA as úlceras afectam 68 mil pessoas por ano, que precedem 85% das amputações e tornam-se infectadas em 50% dos casos. (*Directrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes, 2007*). Correspondem ainda a 6% das hospitalizações. (Pedrosa HC e tal, 1998; LEVIN, 1995)

De acordo com Smeltzer & Bare (2002), “cerca de 50% a 75% das amputações de membros inferiores são efectuadas em pessoas com diabetes. Acredita-se que até 50% dessas amputações são passíveis de prevenção, desde que os pacientes sejam ensinados sobre medidas de cuidados preventivos com os pés e pratiquem esses cuidados preventivos de forma diária”.

As pessoas com diabetes apresentam, face às pessoas não-diabéticas, um risco 15 vezes superior de serem submetidas a uma amputação. Nos Estados Unidos, de 50% a 70% de todas as amputações não-traumáticas ocorrem em pessoas diabéticas. A prevalência de úlceras nos pés, em países desenvolvidos, corresponde a aproximadamente de 4% a 10% dos pacientes com diabetes. (*Consenso Internacional Sobre o Pé Diabético, 2001*).

Segundo a mesma fonte, as complicações do pé diabético geram um elevado gasto financeiro com hospitalizações prolongadas, custos com a reabilitação, necessidade de cuidados domiciliares, assistência social, além dos custos indirectos, como o afastamento do trabalho, e custos emocionais pela perda do pé ou da perna. O tempo médio de hospitalização para pacientes com úlceras nos pés varia de 30 a 40 dias, sendo, portanto, 50% mais prolongado do que nos pacientes sem úlceras nos pés. Os pacientes diabéticos com lesões nos pés e doença vascular permanecem hospitalizados por mais tempo do que as pessoas não-diabéticas com úlcera e doença vascular periférica.

A prevenção das complicações do pé diabético é uma medida que pode ser realizada com baixos custos e que traz grandes benefícios.

Entretanto, a dificuldade em conseguir um controlo metabólico adequado, tendo em vista a falta de adesão ao tratamento e uma maior predisposição para o agravamento das complicações e surgimento de infecções, numa população tendencialmente envelhecida, coloca-nos diante da necessidade de aprofundar os conhecimentos sobre os problemas relacionados aos pés de pessoas diabéticas visando a prevenção de úlceras, o que justifica a realização deste projecto.

2.4 Fisiopatologia do pé diabético

2.4.1 Patogénese e tratamento das úlceras diabéticas

Um doente diabético, que seja portador da doença há já alguns anos, é um candidato a desenvolver neuropatia que, associada a alterações da circulação sanguínea, torna-o mais vulnerável a infecções nos pés. Então, a tríade composta pela neuropatia, vasculopatia (Doença Arterial Periférica) e alterações imunológicas e infecção, constitui a base para o surgimento do pé diabético (Revilla et al, 2007).

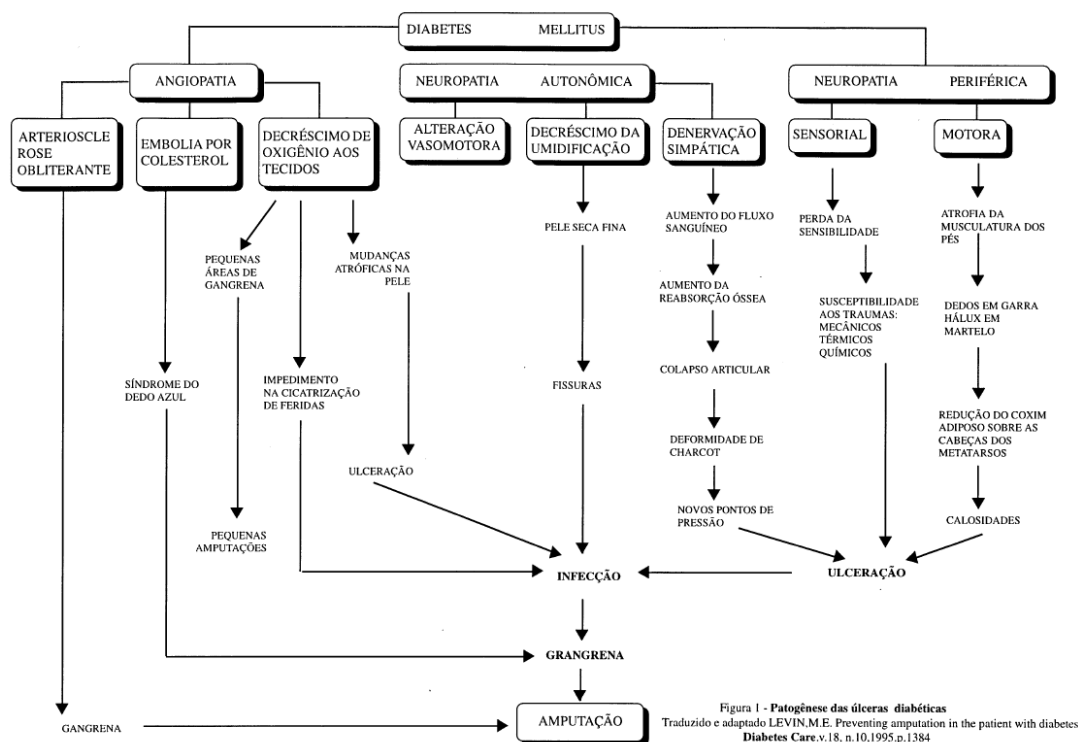


Fig. 3: representação gráfica sintética dos processos envolvidos na patogénese das úlceras diabéticas (Fonte: Levin, M.E., 1995)

No entanto, importa referir que o pé diabético pode ser provocado apenas por um dos factores, sendo a neuropatia o mais frequente.

A neuropatia periférica (sensitiva, motora e autónoma), afecta os nervos sensoriais periféricos dos membros inferiores, provocando a redução ou perda da sensibilidade, ausência de sudação e deformação do pé com proeminências ósseas metatársicas, que conduzem a alterações na marcha e, conseqüentemente, formação de calosidades, por prolongada pressão local, e eventualmente ulceração da pele (Rocha *et al*, 2006).

Quase todas as complicações diabéticas têm origem na neuropatia diabética, pois a perda de sensibilidade promove que pequenos ferimentos passem despercebidos, potenciando lesões mais profundas.



Fig. 4: Pé neuropático (Fonte: http://www.forumenfermagem.org/index.php?option=com_content&view=article&id=3381:pe-diabetico&catid=182:)

Segundo determinados estudos apresentados no Consenso Internacional sobre o Pé Diabético (*International World Group of Diabetic Foot – IWGDF, 2003*), determinou-se que o factor de risco principal para úlceras nos pés é a presença de neuropatia sensitivo-motora, cuja prevalência estimada varia de 30% a 70%. Noutros estudos transversais apresentados no mesmo documento, evidenciou-se que de 80% a 90% das úlceras nos pés foram precipitadas por algum trauma externo, como por exemplo, o uso de calçados inadequados.

A vasculopatia pode não ser a causa inicial de desenvolvimento da úlcera, mas dificulta a sua cicatrização e, quando associada a neuropatia, torna-se um problema acrescido, uma vez que o doente apresenta alteração da sensibilidade, devido aos níveis críticos de isquémia (Rocha *et al*, 2006).

De facto, se houver uma redução ou interrupção do fluxo sanguíneo para os membros inferiores, tal dificulta a cura das feridas.

Aproximadamente 80 a 90% das lesões dos pés dos diabéticos são acompanhadas de isquemia significativa (Logerfo; Gibbons, 1994). O decréscimo do fornecimento de sangue aos tecidos, proveniente do processo oclusivo, mesmo que moderado, agravado pela perda do padrão fisiológico de vasomoção, decorrente da neuropatia autónoma e agravado pela presença da polineuropatia predispõem mudanças atróficas da pele (fina e com ausência de pêlos), ulcerações e formação de pequenas áreas de gangrena, determinando a necessidade de pequenas amputações que, com frequência, são acompanhadas de infecção.

A vasculopatia deve-se, basicamente, ao desenvolvimento da aterosclerose macrovascular, extremamente frequente no diabético, tendo origem nas disfunções do metabolismo lipídico inerentes à doença, especialmente quando inadequadamente controlada. A oclusão vascular é generalizada, progride rapidamente e ocorre de forma multissegmentar e bilateralmente (Chait; Bierman, 1994; Dowdell, 1995).



Fig. 5: Pé com vasculopatia (http://www.forumenfermagem.org/index.php?option=com_content&view=article&id=3381:pe-diabetico&catid=182:)

A vasculopatia é quatro vezes mais comum em diabéticos, afectando ambos os sexos. O seu grau de complicação está intimamente relacionado com vários factores, designadamente, com inadequado controlo da glicemia, duração da doença, idade, tabagismo, hipertensão, hiperlipidemia e obesidade. (Chait; Bierman, 1994; Dowdell, 1995; Levin, 1995)

Relativamente às infecções, que podem ser de origem fúngica e/ou bacteriana, elas ocorrem porque o sistema imunológico tem menor capacidade de destruir os micróbios, o que vai fazer com que determinadas feridas surjam e infectem. (<http://www.saude.rio.rj.gov.br/media/protocolo.pdf>)

As infecções podem ser superficiais, ou seja, apenas das camadas da pele, mas o seu risco está ligado à possibilidade de uma extensão em profundidade que pode ameaçar as partes moles, bainhas tendinosas e, principalmente, as estruturas ósseas. (Barata, A., Oliveira, D., 2008)

As infecções leves são geralmente causadas por uma ou duas espécies de cocos gram positivos aeróbicos, dos quais, o *Estafilococos áureus* e *Streptococos* são os mais comuns. As infecções mais graves (ex. profundas, com necrose e/ou isquemia), são frequentemente causadas por uma flora polimicrobiana (*Estafilococos áureus* (gram positivo), *Escherichi coli* e *Proteus sp*, *Peptoestreptococos*, *Peptococos* e *Clostrídio sp* (anaeróbios). (Sader H. S., Durazzo, A., 2003)

O pé diabético pode, ser classificado em dois tipos, de acordo com a sua etiopatogenia: neuropático e isquémico (Edmonds, 1987 cit in Afonso et al, 2005). No entanto, em 1994 o mesmo autor acrescenta também, uma nova classe, o neuro-isquémico, uma vez que, o pé isquémico puro sem neuropatia é raro.

O diagnóstico diferencial entre pé neuropático e isquémico é fundamental para a abordagem correcta do Pé Diabético.

Quadro 1 – Classificação Fisiopatológica do Pé Diabético (Fonte: Revilla, G. et al., 2007)

CLASSIFICAÇÃO FISIOPATOLÓGICA DO PÉ DIABÉTICO	
PÉ NEUROPÁTICO	PÉ ISQUÉMICO
Quente	Frio
Rosado	Pálido com a elevação e cianosado com o declive
Pele seca e fissurada	Pele fina e brilhante
Deformações	---
Insensível à dor	Com sensação dolorosa
Pulsos amplos	Pulsos diminuídos ou ausentes
Veias ingurgitadas	Aumento do tempo de enchimento capilar
Edemaciados	Sem edema
Se úlcera: 1º e 5º metacarpo e calcâneo (posterior); redondas com anel querotásico periulcerativo; não dolorosas	Se úlcera: latero-digital; sem anel querotásico; dolorosas

Vários estudos epidemiológicos revelam que, as úlceras do pé precedem 85% das amputações dos membros inferiores nos diabéticos, documentando-se a presença de gangrena em 50% a 70% dos

casos e de infecção em 20% a 50%. (Horta e Pinto (2004, p. 35); *Consenso Internacional sobre Pé Diabético, 2001; Brasil, 2001; Pedrosa H., 1998*)

De acordo com a sua extensão e segundo a classificação de Wagner, que é a mais frequentemente utilizada, as úlceras do pé diabético podem diferenciar-se da seguinte forma:

Quadro 2 - Classificação de Wagner para as lesões do pé diabético, 1981 (Fonte: HESS, C.T. Tratamento de Feridas e Úlceras, 2002)

CLASSIFICAÇÃO GLOBAL DO PÉ DOS DIABÉTICOS		
GRAU	LESÃO	CARACTERÍSTICAS
0	Pé com risco baixo de úlcera	Ausência de factores de risco
1	Pé com médio/alto risco de úlcera	Calosidades, fissuras, cabeças metatársicas proeminentes, dedos em garra, outras anormalidades ósseas Neuropatia diabética Doença arterial periférica Úlcera prévia ou amputação
2	Úlcera superficial sem infecção evidente	Destruição total da pele
3	Úlcera profunda	Penetra na pele, gordura, ligamentos Não penetra o osso Infecção do pé: sinais de infecção (febre, leucocitose), secreção purulenta ou dois ou mais sintomas locais (vermelho, quente, doloroso, crepitação)
4	Úlcera profunda com celulite, abscesso ou envolvimento ósseo	Extensa e profunda, secreção e mau cheiro
5	Gangrena localizada	Necrose de uma parte do pé: planta, calcanhar, dedos
6	Gangrena extensa	Atinge todo o pé Sintomas e sinais sistémicos

O tratamento do pé diabético depende do grau de comprometimento do membro pelo que, com base nesta classificação, definem-se as orientações ou tratamentos a seguir.

2.4.2 Prevenção de Úlceras no Pé Diabético – a importância das meias

A identificação do pé de risco é fundamental para um tratamento preventivo eficaz do pé nas pessoas com Diabetes.

Os diabéticos mais propensos ao aparecimento de úlceras ou amputações são os que possuem a doença há mais de dez anos, sejam do sexo masculino, que tenham um mau controlo da glicemia, complicações cardiovasculares, retinianas ou renais. (Sader H. S., Durazzo, A., 2003)

As úlceras neuropáticas ocorrem com maior frequência na zona plantar, nomeadamente nas zonas subjacentes a deformações ósseas.

As úlceras isquémicas e as neuroisquémicas são mais frequentes nas extremidades dos dedos ou nos bordos laterais do pé.

Os factores de risco (*Revilla, Gema et al, 2007*) mais frequentemente responsáveis pelo aparecimento e manutenção de uma úlcera são:

- Úlcera ou amputação prévia;
- Complicações tardias da diabetes;
- Diminuição da acuidade visual;
- Desconhecimentos dos riscos da doença;
- Condições socioeconómicas deficientes;
- Depressão;
- Pele seca do pé;
- Presença de calosidades, gretas ou onicomicoses;
- Presença de edema;
- Deformidade dos dedos ou rigidez articular;
- Neuropatia;
- Doença arterial periférica;
- Uso inadequado de meias e calçado.

Em termos de prevenção, existe um conjunto de medidas extremamente simples que, sendo seguidas são capazes de evitar ou diminuir o desenvolvimento de lesões que podem levar a amputações.

A inspecção e exame frequente de um pé em situação de risco são fundamentais, devendo ocorrer pelo menos uma vez por ano.

O controlo da glicemia, do perfil lipídico, da obesidade e a abolição do fumo e do álcool, são também condições essenciais na prevenção de úlceras diabéticas.

Com base no estado da arte e na experiência profissional acumulada pelos técnicos de saúde que lidam esta problemática (*Marvin E. Levin, 1994; Grossi, S.A.A., 1998; Consenso Internacional sobre o Pé Diabético, 2001, Ochoa-Vigo K, Pace AE., 2005; Carolina Fajardo, 2006; Afonso, Gustavo et al, 2007*), *Revilla, Gema et al, 2007*), as seguintes medidas são alguns dos exemplos de medidas preventivas com vista a prevenir e limitar a formação de úlceras:

- Inspecção diária dos pés, incluindo entre os dedos (pelo doente ou outra pessoa);
- A higiene dos pés e pernas deverá ser feita diariamente com água morna corrente e sabonete neutro. Deve também secar-se com cuidado, especialmente entre os dedos;

- Se a pele estiver seca, é recomendável o uso de creme hidratante em pequenas quantidades, tomando-se o cuidado de não permitir que o excesso de creme permaneça entre os dedos, visto que pode favorecer a maceração da pele;
- Verificar os pés regularmente quanto à presença de calos, fissuras, bolhas, pontos de pressão ou trauma, alterações da cor da pele, encravamento das unhas ou qualquer outra anormalidade;
- Cortar as unhas a direito e limar as asperezas;
- Protectores adesivos devem ser evitados e quando necessário usar pensos limpos;
- Realizar actividade física com regularidade, de forma a favorecer a circulação periférica. Realizar caminhadas e exercícios leves que possibilitam o trabalho muscular dos membros inferiores não têm contra-indicação, desde que realizados com calçados adequados;
- Os pontos de pressão, que são os principais precursores da formação de calos, calosidades e lesões podem, ser evitados, na grande maioria dos casos, através do uso de calçado adequado;
- Utilizar calçado adequado (adaptado às alterações biomecânicas e às deformações);
- Usar meias ajuda a evitar feridas. Verificar se não são demasiado apertadas nem demasiado folgadas, devendo ser preferencialmente sem costuras, que não tenham buracos e sejam lavadas todos os dias.

É no âmbito desta última medida preventiva que se baseia a presente tese de dissertação, procurando-se demonstrar a importância das meias na prevenção de úlceras e/ou de outras infecções nos membros inferiores, situação esta que é geralmente subestimada.

De facto, os diabéticos devem usar sempre os sapatos com meias, havendo quem defenda que as meias mais adequadas são as de algodão e de lã, (*Grossi, S.A.A., 1998; Revilla, Gema et al, 2007*). Outros entretanto são apologistas das meias acrílicas e/ou sintéticas (*Carol B. Feldman e Ellen D. Davis, 2001*).

O calçado é um ambiente quente, fechado e húmido, e o pé humano possui cerca de 60,000 glândulas sudoríferas (120,000 o par), que produzem, em média cerca de 240 ml de suor (quase um quarto de Litro) por dia. Em condições extremas (dias húmidos ou na prática de desporto) estes valores podem chegar ao dobro. (*Revista podológica.com, nº 8 – Junho 2006*)

É por esta razão que a capacidade de gestão da humidade é essencial ao conforto e higiene dos pés, o que se torna mais preponderante no caso de pacientes diabéticos.

Um pé húmido está naturalmente mais exposto à formação de bolhas/irritações, bem como ao ataque de microrganismos.

Importa também referir que o pé dentro do calçado sofre forças de pressão e de abrasão, sendo estas forças as principais responsáveis pelas lesões dérmicas.



Fig. 6: Úlcera do Hallux, por abrasão, em doente com neuropatia diabética
(Fonte: http://www.fes.br/disciplinas/fis/ES_Geriatria/SARITA-PE_DIABETICO.PPS.ppt)



Fig. 7: Úlcera do calcanhar, após desbridamento, causada por pressão no sapato
(Fonte: http://www.fes.br/disciplinas/fis/ES_Geriatria/SARITA-PE_DIABETICO.PPS.ppt)

Podem apontar-se como lesões directa ou indirectamente relacionadas com as meias as seguintes (*Revista podológica.com*, nº 8 – Junho 2006):

- Lesões ungeais: Hematoma sub ungeal, onicomicose, onicogrifose;
- Lesões dermatológicas: LEDs (lesões elementares dermatológicas), nomeadamente, bolhas de abrasão, hiperqueratose, heloma durum/mole;
- Infecções: Infecções por fungos, bactérias, vírus ou leveduras.
- Lesões por causas mecânicas: capsulites, bursites.

As meias têm de facto uma importância substancial na prevenção de úlceras plantares do pé diabético, nomeadamente ao nível da redução da pressão plantar.

Boulton et al. (1998), Dias et al. (1999) relatam em suas pesquisas que o alto índice de ulcerações nos pés diabéticos tem como causa a elevação dos picos de pressão plantar, e a alteração da sensibilidade tátil (*Beuker et al., 2005*).

O uso de meias de cuidados preventivo promove aumento da área de contacto da superfície plantar e, portanto reduz a pressão plantar (*Garrow et al., 2005*).

Uma úlcera de pressão é uma zona de dano localizada na pele ou em tecidos subjacentes, causada por pressão e/ou fricção (*Defloor et al., 2005*).

As áreas de pressão plantar mais frequentes são as seguintes:

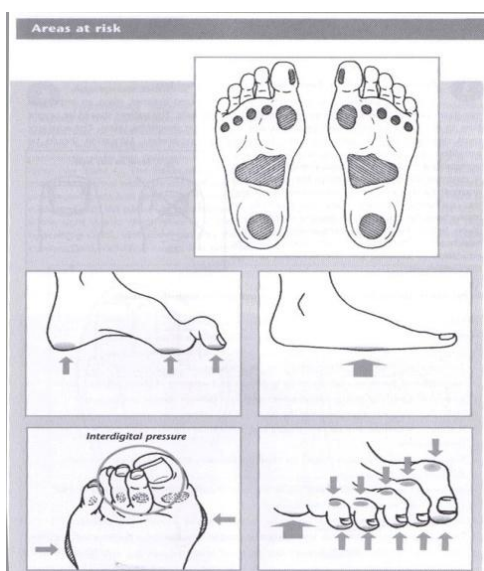


Fig. 8: Áreas de pressão plantar mais frequentes (Fonte: IWGDF, Holland, 1999. International Consensus on the Diabetic Foot)

Embora a neuropatia e a isquemia sejam os factores primários da formação de úlceras no pé, um factor iniciante como o stress físico ou mecânico revelado através da alta pressão plantar dos pés, é geralmente o que ocorre antes da formação da úlcera. (*Costa, T. S., et al, 2001*)

A detecção da úlcera numa fase inicial de desenvolvimento é obviamente a melhor forma de prevenção, o que pode ser feito através da análise e avaliação das alterações da pressão plantar dos pés, mediante um diagnóstico prévio de neuropatia e isquemia. Quanto melhor se entender a biomecânica dos pés, melhor se pode contribuir para o tratamento e prevenção das úlceras.

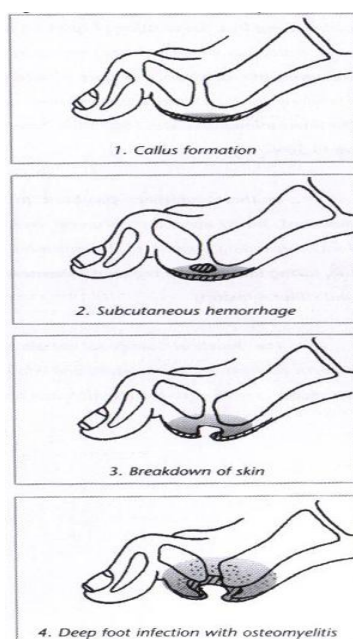


Fig. 9: Fases de formação da úlcera (Fonte: IWGDF, Holland, 1999. International Consensus on the Diabetic Foot)

A ulceração facilmente leva à infecção e amputação.

Segundo revelações actuais da International Diabetes Federation:

- 40 a 70% de todas as amputações de membros inferiores são relacionadas ao diabetes;
- a cada 30 segundos ocorre a amputação de um membro inferior derivada de úlcera diabética;
- 85% das amputações relacionadas ao diabetes são precedidas de úlceras nos pés;
- 70% das pessoas morrem 5 anos após a amputação;
- Os problemas nos pés são responsáveis por 40% dos serviços de assistência médica em países em desenvolvimento; 15% em países desenvolvidos.

A adopção de medidas preventivas, a terapia educacional e o tratamento das úlceras nos pés, podem reduzir as taxas de amputação em cerca de 49% a 85%. (*Consenso Internacional sobre Pé Diabético, 2001*)

Horta et al. (2003), ao investigarem sobre avaliação da taxa de amputações, relataram que 84% das amputações nos diabéticos são relacionadas, principalmente, à gangrena, à infecção e às úlceras crónicas, enfatizando que estas afecções podem ser prevenidas com um acompanhamento multidisciplinar adequado, além da ajuda dos familiares no controlo da diabetes e também no auto cuidado com o pé de risco.

O pé diabético pode reunir características clínicas variadas, razão pela qual a abordagem deve ser especializada e contemplar um modelo de atenção integral (educação, qualificação do risco,

investigação adequada, tratamento apropriado das feridas, cirurgia especializada, aparelhamento correcto e reabilitação global), objectivando a prevenção e a restauração funcional da extremidade. (Batista F., 2005)

Apesar dos diversos estudos que relatam a importância da prevenção de complicações dos pés dos diabéticos e avaliação de taxa de amputações (Gamba, 1998; Horta et al., 2003; Nascimento, 2002), poucos são os que incidem sobre a vivência do amputado.

Neste contexto, o estudo de Loureiro et al. (2002) enfatiza que a experiência da amputação traz à vítima sentimentos diversos, assim como mudanças na sua vida diária. As primeiras reacções vividas são, principalmente, a descrença e a angústia. “É difícil para o amputado o processo de luto diante da perda de um membro”.

2.4.3 Pé diabético – artropatia de Charcot

A artropatia de Charcot é considerada uma complicação bastante grave.

As alterações ósseas e articulares neuropáticas, denominadas pé de Charcot (fractura neuro-osteoartropática), são consideradas as complicações mais devastadoras do pé diabético. Os sintomas geralmente incluem temperatura cutânea elevada, hiperemia, edema, as vezes dor, ausência de lesões na pele e de sinais radiológicos. (Consenso Internacional sobre Pé Diabético, 2001)

Define-se artropatia de Charcot como uma artropatia global, com subluxação plantar do tarso, perda da concavidade interna do pé associada ou não à luxação tarsometatarsica. (Revilla, 2007)

Os típicos pacientes portadores da artropatia de Charcot são indivíduos que se apresentam com diabetes de longa duração, peso excessivo, pés insensíveis, entre a quinta e a sétima décadas de vida e que, comumente, demonstram deformidades graves e tentativas desorganizadas de remodelação óssea, associadas ou não a úlceras ou infecções (risco elevado de ablação da extremidade). (Batista F., 2009)

Clinicamente aparecem pés com grandes deformações e com outras características do pé neuropático. Esta situação exprime a fase final da artropatia diabética, que começa por fracturas espontâneas ou com traumatismo mínimo, fracturas que são por vezes indolores, mas que apresentam manifestações clínicas (pé muito edemaciado, quente e eritematoso) e radiológicas (reacção perióstea e osteólise). Está ainda associada a úlceras de tratamento difícil. (Revilla, 2007)

O tratamento da artropatia de Charcot é paliativo, mas deve ser o mais precoce possível, já que evita o agravamento das deformações e das úlceras. Este tratamento passa por evitar o apoio do pé afectado, por calçado à medida e moldado às deformidades e pela vigilância e tratamento das úlceras. A amputação é por vezes necessária quando a úlcera é incurável. (Revilla, 2007)



Fig. 10: Artropatia de Charcot (Fonte: IDF Europe, Setembro 2008)

2.5 Os têxteis funcionais

A evolução tecnológica que se vem observando, proporciona cada vez mais, novos desafios na criação de artigos têxteis diferenciados, com propriedades físicas, acabamentos e texturas inovadoras, respondendo às exigências dos consumidores e criadores da moda.

Desde a génese humana que os produtos têxteis são utilizados na produção de vestuário, de forma a proporcionar conforto e protecção. Aspectos como a estética começaram apenas a ser atributos valorizados mais tarde.

No século XX a descoberta das fibras sintéticas, artificiais e minerais traduziu-se numa mudança do padrão de consumo e num impacto extremamente forte para o crescimento da indústria têxtil.

Neste novo século, novos desenvolvimentos têm vindo a ser explorados, nomeadamente a introdução dos têxteis funcionais.

Os têxteis funcionais, são produtos que não visam tanto a componente estética, mas sim a sua performance e características funcionais. A funcionalização deve no entanto ser prevista tendo em consideração o aspecto, o toque e o conforto dos têxteis.

Os materiais funcionais exigem um alto desenvolvimento tecnológico, permitindo a sua diferenciação pelo elevado valor acrescentado que é incorporado.

Embora não haja uma definição unânime, entende-se por substratos têxteis funcionais, como os “substratos que além das suas características estéticas e decorativas se caracterizam pelo seu desempenho funcional face aos vários estímulos externos que podem condicionar o seu ciclo de vida”. (Citeve, 2008)

Os objectivos pretendidos com a funcionalização dos substratos têxteis passam por:

- Potenciar a performance humana (conforto, saúde, segurança, bem-estar, performances desportivas, ...);
- Encontrar novas aplicações de materiais têxteis em aplicações técnicas;
- Permitir a personalização do vestuário por promoção dos smart textiles (têxteis inteligentes).

2.5.1 Classificação dos têxteis funcionais

Os têxteis funcionais diferenciam-se em três tipos de grupo, que se apresentam de forma breve nos quadros seguintes:

Quadro 3: Propriedades de Valorização Estética e Conforto

Propriedades de Valorização Estética e Conforto	
Anti-odor	Propriedades de absorção, armazenagem e neutralização de odores (fumo de tabaco, suor, cheiros a de gordura, etc), através da adição de ciclodextrinas
Aromaterapia	Poder terapêutico/energizante/relaxante proporcionado por aplicação de microcápsulas em processos de ultimação
Fotocrómico	Alteração de cor estimulada por exposição a determinadas fontes de luz, proporcionada por aplicação de pigmentos fototrópicos (que podem apresentar-se sob a forma de microcápsulas ou pigmentos fluorescentes)
Bronzeador	Capacidade de auto-bronzeamento proporcionada por aplicação de microcápsulas em processos de ultimação
Hidratante	Capacidade de hidratação, amaciamento, relaxamento e frescura, através de processos de ultimação em fibras têxteis
Refrescante	Sensação refrescante proporcionada pela fibra ou através da aplicação de microcápsulas em processos de ultimação
Termocrómico	Alteração de cor estimulada pela temperatura, proporcionada por aplicação de pigmentos termocrómicos (que podem apresentar-se sob a forma de microcápsulas)
Perfume/odor	Propriedade de libertação de perfume/aroma/fragrância (maçã, morango, etc) proporcionada por aplicação de microcápsulas
Cicatrizante	Aumento do poder cicatrizante proporcionado pela fibra ou através de processos de ultimação
Hidrófila	Carácter hidrófilo (importante nas sintéticas), proporcionado pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada em processos de ultimação
Anti-Celulite	Tratamento proporcionado por aplicação de microcápsulas em processos de ultimação
Retardador de crescimento de pêlo	Inibição do crescimento de pêlos proporcionada por aplicação de microcápsulas em processos de ultimação
Refirmante e Reestruturante	Capacidade de atribuir firmeza e/ou reestruturar a pele proporcionada por aplicação de microcápsulas em processos de ultimação
Aquacrómico	Alteração de cor estimulada pelo contacto com um solvente (água), proporcionada por aplicação de um estampado
Vitamínico	Capacidade de libertação de vitaminas proporcionada pela fibra ou incorporada por processos de ultimação
Piezocrómico	Alteração de cor estimulada pela pressão física, proporcionada por aplicação de pigmentos sensíveis à pressão
Reflexão/brilho	Alteração de propriedades de reflexão e brilho proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada por processos de ultimação
Amaciador	Suavização do toque proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil, por aplicação de enzimas ou outros processos de ultimação

Quadro 4: Propriedades de Protecção

Propriedades de Protecção	
Ácaros	Acção de protecção aos ácaros, proporcionada pela fibra ou incorporada por processos de ultimação
Bacteriana	Acção de protecção bacteriana, proporcionada pela fibra ou incorporada por processos de ultimação
Traça	Acção de protecção ao ataque da traça (importante para fibras proteicas) proporcionada pela fibra ou incorporada por processos de ultimação
Fúngica	Acção de protecção fúngica, proporcionada pela fibra ou incorporada por processos de ultimação
UV	Acção de protecção às radiações ultravioleta, proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada por processos de ultimação
Mosquitos/insectos	Acção de protecção aos mosquitos e insectos, proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada por processos de ultimação
Inflamação	Acção anti-inflamatória proporcionada pela fibra
Analgésica	Acção de protecção analgésica, proporcionada pela fibra ou incorporada por processos de ultimação
Poluição	Acção de protecção aos agentes poluidores, proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada por processos de ultimação
Estática	Acção anti-estática, utilizada em fibras com tendência a acumular cargas electrostáticas, proporcionada pela fibra ou incorporada por processos de ultimação
Termoregulador	Acção de regulação de temperatura, proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada por processos de ultimação
Ignífuga	Acção de protecção ao fogo, proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada por processos de ultimação
Impermeável	Acção de resistência à penetração da água, do vento e do ar, proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada por processos de ultimação
Hidrófuga	Acção de resistência à penetração da água, sem impedir a respirabilidade, proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada por processos de ultimação
Stress	Acção anti-stress, proporcionada pela fibra, pela estrutura têxtil ou incorporada por processos de ultimação

Quadro 5: Propriedades de Fácil Cuidado

Propriedades de Fácil Cuidado	
Nódoa	Acção de repelência a manchas, óleos e sujidade, incorporada por processos de ultimação
Borboto	Propriedade anti-pilling proporcionada pela fibra ou por processos de ultimação
Vinco	Propriedade anti-amarrotamento incorporada por processos de ultimação
Encolhimento	Propriedade que preserva as dimensões do artigo têxtil, incorporada por processos de ultimação
Feltragem	Propriedade anti-feltragem incorporada por processos de ultimação

2.5.2 Processos de funcionalização

Os avanços tecnológicos têm permitido obter produtos diferenciados, designadamente através das seguintes formas:

Quadro 6: Processos de funcionalização

Processos de funcionalização	Descrição
Modificação da matéria-prima	<ul style="list-style-type: none">- Novas tecnologias de produção (gel spinning, bicomponent spinning, microfibre spinning);- Novos tipos de fibras (novos polímeros, nova configuração das fibras) incluindo micro e nanofibras;- Incorporação de micro e nanoaditivos na matéria-prima utilizada no fabrico das fibras;- Utilização de nanotubos de carbono e outras nanoestruturas.
Novas estruturas de “fio”	Fios heterofílicos, combinados ou revestidos que permitem ainda a construção de estruturas têxteis “híbridas”
Modificação superficial através de processos físicos e químicos	<ul style="list-style-type: none">- Tecnologia plasma;- Incorporação de grupos funcionais na superfície das estruturas por aplicação da tecnologia Grafting;- Tratamento de superfície com enzimas;- Tratamento com ozono;- Utilização da técnica de cationização;- Processo de ultra-sons;- Laser.
Combinação inteligente de materiais (fibras, estruturas, etc.) para incutir novas propriedades	<ul style="list-style-type: none">- Aplicação de “Smart Membranes” (estruturas laminadas com membranas hidrofílicas ou microporosas);- PCM (phase change material) – materiais de mudança de fase;- SMM (shape memory materials) – materiais com memória de forma;- Combinação de substratos têxteis com tecnologias de informação e comunicação, com materiais condutivos, com leds e oleds.

(Continuação)

Processos de funcionalização	Descrição
Modificação superficial através de acabamento	Aplicação de produtos não microencapsulados (micro e nanoemulsões normalmente incorporadas nos amaciadores): <ul style="list-style-type: none"> - Gel de aloé vera (incorporado em micro e macro emulsões de silicone); - Efeito hidratante, cicatrizante e regenerante da pele; - Cera abelha e mel – efeito calmante, anti-inflamatório, antibacteriano - Óleo jojoba (incorporado em micro e macro emulsões de silicone) – cuidado da pele, hidratação; - Concentrações de colagénio – compressão da pele; - Concentrações de cafeína – revitalizante e refrescante; - Concentrações de óleo mentolado – hidratação e refrescante; - Extracto de chá verde – calmante, anti-inflamatório, protecção solar; - Extracto de calêndula – cicatrizante, anti-inflamatório, estimulante do sistema imunitário.
	Tecnologia de microencapsulação: As microcápsulas são partículas com um diâmetro de 0,1 – 100 microns, contendo um “agente activo” envolvido por uma membrana, que pode ser natural (ex: quitosano) ou sintética. A sua aplicação na indústria têxtil surgiu nos anos 90. O agente activo pode ser libertado por acção mecânica, térmica, pH, etc. O micro-encapsulamento isola o princípio activo, permitindo uma libertação controlada, tendo em consideração a espessura e a porosidade da membrana.
	Utilização de ciclodextrinas: <ul style="list-style-type: none"> - Vestuário interior, luvas e meias com agentes anti-fungos, anti-histamínicos e anti-inflamatórios; - Toalhas que emitem um cheiro agradável ao limpar as mãos com elas; - Roupas de cama que liberta um aroma agradável; - Cortinados que podem contribuir para uma melhoria dos espaços para fumadores, etc. - Têxteis com ciclodextrinas podem ser muito úteis na identificação de compostos orgânicos de pessoas doentes, por exemplo, através do suor, em lugar dos habituais testes à urina ou ao sangue; - As ciclodextrinas quimicamente ligadas a um tecido e complexadas com agentes lubrificantes podem ter acção no controlo de vincos do tecido; - etc
	Nanoacabamentos: <ul style="list-style-type: none"> - efeito anti-bactericida à base de prata; - repelentes de insectos; - anti-tabaco; - desodorizantes; - etc.
	Processo de coating (revestimento): Conhecido como “spin coating”, o processo consiste em colocar uma determinada quantidade de um líquido sobre uma superfície plana que é então rodada a grande velocidade. A rotação gera forças centrífugas que empurram a solução para as bordas da superfície e causam a evaporação de parte do líquido, deixando uma fina película sólida sobre toda a superfície. A espessura do filme depende das propriedades da solução original, tal como a sua viscosidade, e da velocidade de rotação. Este tipo de tecnologia, ainda em estudo, pode vir a ser aplicada através do revestimento do substrato têxtil com enzimas, de modo a que logo que caia uma mancha, seja imediatamente removida, ou no caso dos têxteis-lar de modo a que sejam capazes de eliminar bactérias, etc.

2.5.3 Importância dos acabamentos antimicrobianos

A referência mais antiga em termos de protecção antimicrobiana surge como ritual bíblico utilizado nos primórdios da civilização em que se empregava a gordura quente fundida resultante da queima de animais. Ao escorrer e entrar em contacto com as cinzas, esta gordura formava, por saponificação, uma mistura alcalina de sabão em pó. Essas cinzas saponificadas eram diluídas em recipientes, formando assim uma lixívia que era utilizada para borrifar tudo o que estivesse em contacto com cadáveres. (*Citeve, 2008*)

No século XX, a descoberta dos agentes tensioactivos como removedores de sujidade, de óleos e de gorduras, contribuiu grandemente para diminuir a possibilidade de formação microbiana.

Por volta de 1935 descobriu-se o efeito biocida (eliminação de organismos vivos como traças, mosquitos, ácaros, entre outros) dos tensioactivos quaternários de amónio, passando por isso a ser aplicados na indústria têxtil. São exemplos de biocidas aplicados na época o fenol, halogéneos (cloro, bromo, iodo) e sais metálicos.

Durante a 2ª Guerra Mundial, as tendas e coberturas dos camiões eram feitas em algodão, razão pela qual era necessário evitar o ataque microbiano desses tecidos. Com este objectivo, no início de 1940, o exército Americano procedeu à recolha e à compilação de informações acerca de fungos, leveduras e algas isolados a partir de têxteis em zonas tropicais em várias zonas de globo terrestre. Este estudo, permitiu que substratos de algodão e suas misturas fossem tratados com misturas de ceras clorinadas, cobre e sais de antimónio, sem que se tivessem contudo em consideração os efeitos nocivos em termos ambientais e de toxicidade.

Após a 2ª Guerra Mundial, no final do ano de 1950, eram utilizados em tecidos de algodão, fungicidas tais como sais de 8-hidroxiguiunolina, naftaleno de cobre, fluorito de amónia e cobre, etc. Por esta altura, começou a ser dada importância às questões ambientais, para o que muito contribuiu a parceria entre o Southern Regional Research Laboratory do Departamento Norte Americano de Agricultura e o Instituto de Tecnologia Têxtil (ITT), uma vez que permitiram a modificação química do algodão (através da acetilação e da cianoetilação), objectivando melhorar a sua resistência do algodão aos ataques microbianos.

Algumas limitações neste método, como o custo elevado e a consequente perda de resistência do tecido durante o seu processamento, não permitiram uma boa aceitação na indústria.

Novos desenvolvimentos foram surgindo e actualmente é um tratamento indispensável no sector têxtil.

De facto, no dia-a-dia, o número de microrganismos (vírus, fungos, esporos e bactérias) que entra em contacto, quer com a pele, quer com as roupas em contacto com a pele é muito diverso.

Em condições adequadas de calor, humidade e nutrientes, estes microrganismos multiplicam-se de forma extraordinária.

Os substratos têxteis proporcionam essas condições de proliferação, por permitirem a retenção ou agirem como fontes de nutrientes para esses seres vivos. O corpo humano produz calor, transpiração e secreções que, aliados a eventuais resíduos de alimentos tornam os tecidos um meio ideal para a multiplicação de microrganismos.

“Os microrganismos multiplicam-se muito rapidamente no substrato têxtil, desde que encontrem calor, humidade e nutrientes (por exemplo fibras naturais, encolantes e outros aditivos). A sua multiplicação segue uma progressão geométrica do tipo 1, 2, 4, 8, 16,... e em condições ideais pode ocorrer a cada vinte minutos, o que significa que num período de 8 horas, uma simples bactéria pode gerar 1,6 milhões descendentes”. (Citeve, 2008)

A decomposição dos elementos nutrientes pelos microrganismos gera a formação de ácidos voláteis responsáveis por odores desagradáveis, formação de manchas e degradação do tecido. Alterações no aspecto, perda de resistência mecânica e de alongamento das fibras, são outras das desvantagens traduzidas pelo ataque por microrganismos.

Meios simultaneamente quentes e húmidos como o calçado, o vestuário desportivo e a roupa interior são substratos que favorecem o crescimento dos microrganismos, principalmente bactérias e fungos, sendo os mais importantes: *Staphylococcus aureus* (frequentemente detectado em roupa interior), *Bacillus subtilis* (em calças, casacos e roupa interior), *Escherichia coli* (em calças e roupa interior), *Staphylococcus epidermis* (em calças, casacos e roupa interior) e *Candida albicans* (em roupa interior). (Citeve, 2008)

A maior parte não é patogénica, mas alguns podem apresentar um alto nível de risco para a saúde.

Algumas consequências são o resultado da metabolização por parte dos microrganismos do suor e da urina, provocando a formação de substâncias causadoras de mau odor, irritações e infecções. O metabolismo da bactéria Gram-positiva *Staphylococcus aureus*, por exemplo, está associado à

formação do ácido 3-metil-2-hexenoico, responsável pelo odor do corpo humano e a bactéria Gram-negativa *Proteus vulgaris* é reconhecida pelo metabolismo de ureia a amónia.

A composição das fibras, as suas propriedades e os processos químicos a que são sujeitas durante a sua transformação, influencia o ataque microbiano.

A estrutura porosa e hidrofílica das fibras naturais como a lã, o algodão, o linho e a seda, permitem a retenção de água e oxigénio, servindo assim de fonte de nutrientes para os microrganismos, pelo que, estas fibras, comparativamente às fibras sintéticas (hidrofóbicas), são mais susceptíveis ao ataque microbiano. As fibras celulósicas não constituem directamente uma fonte alimentar dos microrganismos, no entanto, alguns fungos e bactérias segregam enzimas que convertem por hidrólise a celulose em glicose.

Importa referir que a hidrofobicidade das fibras sintéticas não as tornam completamente isentas ao ataque pelos microrganismos, pois as fibras de poliuretano e alguns revestimentos também podem sofrer degradação. Por outro lado, os processos químicos a que estão sujeitas durante o seu processamento, podem promover o crescimento de micróbios.

Inibir a proliferação microbiana nos substratos têxteis torna-se portanto preponderante, passando os acabamentos antimicrobianos a ser indispensáveis em têxteis utilizados em determinados fins.

Existe uma vasta gama de agentes antimicrobianos utilizados nos materiais têxteis, que incluem, antibióticos, formaldeído, metais pesados (prata, cobre, sais metálicos), compostos organometálicos, fenóis, cloroamina, peróxido de hidrogénio, iodeto, ozono, compostos quaternários de amónio, e organosiloxanos.

As fibras bioactivas oferecem, separada ou conjuntamente, um comportamento antibacteriano, antifúngico (antimofo/antibolores) e antiácaros, sendo as antibacterianas as mais difundidas. São produtos que satisfazem as cada vez maiores exigências do público em geral e dos serviços médicos, sendo cada vez mais apreciadas pela sua contribuição na melhoria da saúde, conforto e higiene. (Gacén, J., 2001).

2.5.3.1 Propriedades de um acabamento antimicrobiano

Como já referido, as propriedades intrínsecas das fibras têxteis promovem o crescimento dos microrganismos, essencialmente bactérias e fungos, onde também condições ambientais apropriadas (humidade e calor) aceleram o problema, podendo ocorrer infecções e simultaneamente, o desenvolvimento de odores desagradáveis.

A utilização de têxteis antimicrobianos contraria a multiplicação dos microrganismos e controla o odor.

Algumas das propriedades a que o substrato têxtil com características antimicrobianas deve obedecer são:

- controlo efectivo do crescimento de bactérias e fungos;
- actividade selectiva direccionada a microrganismos indesejáveis;
- ausência de efeitos tóxicos, tanto para o fabricante como para o consumidor (certificação Öko-tex);
- ser inodoro e incolor;
- resistência da actividade à lavagem, lavagem a seco e lixiviação;
- compatibilidade com outros acabamentos têxteis;
- de fácil aplicação e compatibilidade com os processos têxteis mais comuns;
- não evaporar ao secar e suportar tratamento térmico;
- ter longa duração e solidez à lavagem.

É também importante ter em consideração o mecanismo de acção dos agentes antimicrobianos, para uma correcta aplicação nos materiais têxteis. A grande maioria actua de forma intracelular, outros, actuam por quebra, destruição ou reticulação da parede celular, ou por aumento da sua permeabilidade, originando a sua libertação. Este tipo de agentes antimicrobianos, pode actuar no exterior da célula o que permite a sua imobilização na superfície celular. O conhecimento do modo de actuação de um composto antimicrobiano é factor crucial para a sua aplicação no material têxtil. (*Michielsen et al., 2004*).

2.5.3.2 Compostos e fibras antimicrobianas para têxteis funcionais – Alguns exemplos

A valorização de artigos funcionais tem tido uma importância elevada e crescente. Mais do que um conceito de moda, o consumidor actual procura produtos de performance específicos e que interajam de acordo com as necessidades sentidas.

A crescente e contínua procura por têxteis de “alta tecnologia” com atributos específicos, tem feito com que as empresas têxteis e de confecção procurem desenvolver produtos inovadores que respondam às necessidades do mercado.

A área de higiene e saúde tem apresentado um interesse notável pelos têxteis funcionais, graças às potencialidades traduzidas em termos de bem-estar, prevenção, cuidado e tratamento de problemas de saúde.

Os materiais têxteis são um vector de proliferação microbiana e de transferência de agentes patogénicos (*Sun et al., 2001*). Assim sendo, o tratamento antimicrobiano surge como o potencial meio de controlo da infestação microbiana, uma vez que, diminui/elimina o risco de infecções provocadas pelos microrganismos, nomeadamente patogénicos.

Durante muito tempo, os agentes químicos utilizados para controlar os microrganismos iam desde substâncias muito simples, como iões de halogéneo, até aos compostos mais complexos, representados pelos detergentes. Muitos destes agentes têm sido empregues de geração em geração, enquanto que outros representam os mais recentes desenvolvimentos (*Lee, et al, 2003*).

Os avanços tecnológicos e as potencialidades dos têxteis funcionais antimicrobianos, têm feito com que se estudassem várias aplicações, registando-se actualmente alguns compostos e fibras com propriedades antimicrobianas, contemplando aplicações a vários níveis (ex: equipamentos desportivos, meias, roupa interior, têxteis-lar, etc), procurando enaltecer propriedades como performance, conforto, protecção, higiene e o bem-estar.

Exemplo disso é a fibra Trevira Bioactive, antimicrobiana, que evita a proliferação dos microrganismos. Trata-se de um poliéster multifuncional com propriedades bioactivas, que protege de forma activa contra os microrganismos e satisfaz com eficiência os requisitos específicos de higiene de artigos têxteis (*Franzo, A., 2005*). Esta fibra tem vindo a ser muito utilizada na produção de meias.

As propriedades antimicrobianas são garantidas por um componente especial que é integrado na fibra, garantindo a empresa produtora (Trevira) ter um efeito constante e inalterável e que não é afectado nem pelas lavagens nem pelo uso.

Testes realizados pela empresa produtora demonstram que a eficácia bioactiva se mantém integralmente, mesmo após 100 lavagens.

A fibra Trevira Bioactive baseia-se no princípio activo “iões de prata sobre suporte cerâmico” que é integrado no interior da fibra no momento da sua extrusão permitindo assim obter uma fibra inofensiva para a pele. Com efeito, contrário às fibras revestidas com um produto desinfectante, não existe o risco de migração sobre a pele. Somente as bactérias presentes no interior do material fibroso são destruídas (limitação da proliferação), sendo que a flora natural da pele é preservada. (Franzo, A., 2005).

Os iões de prata fixados dentro do polímero da fibra actuam sobre a membrana das bactérias, mais concretamente sobre as proteínas.

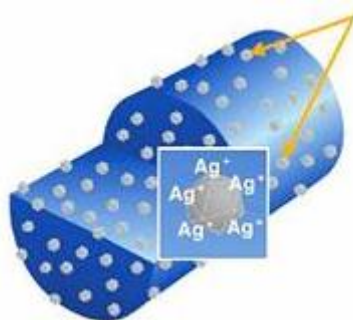


Fig. 11: Íões de prata integrados na fibra (Fonte: www.trevira.com)

Ensaio realizados permitiram estimar uma proporção de 50% de fibra bacteriostática a incluir nas misturas com outras fibras para obter uma eficácia antibacteriana óptima. Esta proporção óptima deve contudo ser ajustada em função das aplicações em vista.

A fibra Trevira Bioactive tem ainda outras vantagens, é que podem ser processadas isoladamente ou em misturas, nas máquinas convencionais normalmente utilizadas em qualquer processo têxtil.

A Trevira Bioactive funciona perante todos os tipos de bactérias Gram-positivo e Gram-negativo, exercendo um efeito bacteriostático, através de uma actuação directa sobre a superfície da fibra (razão pela qual o agente activo antimicrobiano não se dispersa e, por isso não proporciona nenhum tipo de irritação junto da pele), impedindo deste modo o crescimento das bactérias, evitando simultaneamente a formação de odores.

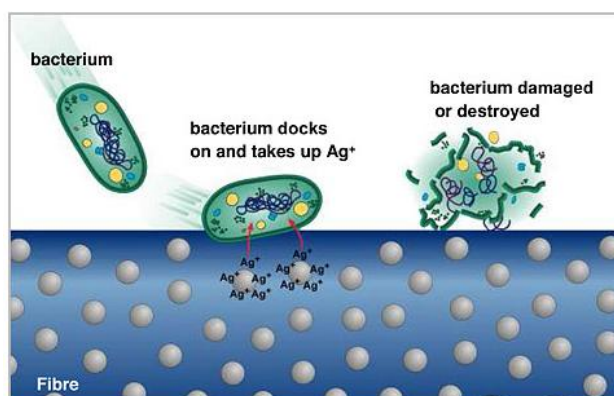


Fig. 12 - Esquema do princípio de funcionamento da fibra Trevira bioactive (Fonte: www.trevira.com)

A actividade antimicrobiana da fibra é garantida pelos testes JIS 1902:2002 (Hohenstein) e AATCC 100 (IMSL).

A empresa brasileira Inpal, possui há vários anos uma estratégia direccionada para tecnologias inovadoras de elevado valor acrescentado para o cliente. Entre outros, desenvolveu um composto antimicrobiano baseado em silano quaternário que confere a protecção microbiana que permite a eliminação de uma grande variedade de microrganismos sem afectar o meio ambiente, devido ao facto de não se utilizarem componentes fenólicos ou metais pesados (www.inpal.com.br). A aplicação pode ser conseguida através de quase todos os tipos de processos húmidos, como esgotamento, impregnação no foulard ou spray.

A mesma empresa possui também a marca Ecofresh, que é a marca que identifica os artigos tratados com o produto Inpalfresh, cuja função é bloquear a proliferação de microrganismos nocivos à saúde, garantindo aos utilizadores a conservação da higiene e a confiança na eliminação de fungos e bactérias. A protecção antimicrobiana não-migrante é reconhecida mundialmente, sendo compatível com todas as fibras naturais e sintéticas, isento de arsénio, estanho e metais pesados (www.inpal.com.br), sendo que tal constitui um verdadeiro avanço nesta área.

Huang e Leonas em 2004, investigaram materiais que tivessem funções repelentes à água e parafinas e simultaneamente, propriedades antimicrobianas. Para isso, efectuaram num banho único a aplicação de compostos fluorados para conferir repelência, e triclosano ou poli (hexametilbiguanidina), para atribuir actividade antimicrobiana, tendo alcançado resultados positivos.

Lee et al (2003) desenvolveram artigos de vestuário com propriedades antimicrobianas e de barreira por aplicação de quitosano com polímeros fluorados.

A Rhodia Poliamida e Especialidades desenvolve o fio de nylon 6.6 Amni Biotech, fio que actua contra a proliferação das bactérias causadoras de odores. O agente bacteriostático é incorporado no fio durante o seu processo de fabricação, fazendo com que a acção do Biotech seja permanente. O Biotech é mais utilizado em meias e roupas íntimas por causa da sua acção contra os odores da transpiração. (<http://www.quimicaederivados.com.br/revista/qd417/atualidades5.htm>)

A Thomson Research Associates, uma companhia canadense especializada em tratamentos antimicrobianos, desenvolveu em 2005 o tratamento antimicrobiano Ultra-Fresh SILPURE, baseado na nanotecnologia natural da prata. Este tratamento promove a protecção em artigos têxteis e polímeros, contra a proliferação de ácaros, fungos e bactérias (odor). (<http://www.ultra-fresh.com.br/silpure.htm>)

A empresa Mossi & Ghisolfi desenvolveu em 2005 uma fibra de poliéster antimicrobiana que denominou Alya Health a qual incorpora tecnologia para evitar a proliferação de microrganismos, como bactérias e fungos. Trata-se de um aditivo que contém um suporte inorgânico especial com iões de prata e que é incorporado à própria massa do poliéster no processo de fabricação da fibra, permitindo um efeito protector permanente.

Foram desenvolvidos estudos em relação às bactérias *Klebsiella pneumoniae* e *Staphylococcus aureus* – comumente utilizadas em testes de laboratório para comprovar a eficácia de aditivos antimicrobianos por serem representativas das duas principais classes de bactérias, as Gram-positivas e as Gram-negativas. As pesquisas realizadas comprovaram que a Alya Health eliminou 99,99% das bactérias que entram em contacto com a fibra. Além da acção contra bactérias e fungos, a Alya Health minimiza a proliferação de ácaros, já que combate os microrganismos dos quais eles se alimentam. (*Fibras & Fatos, Dezembro/2005*)

A RSTAT produz fibras de poliamida e poliéster de alta tenacidade, sobre as quais é inserida uma camada de 0,2 μ de sulfeto de cobre. A acção antibacteriana das fibras R-STAT é resultante de uma progressiva libertação de iões de cobre, os quais se fixam nos grupos Tiol (SH) das enzimas presentes na membrana da bactéria, como o sistema enzimático citocromo, afectando o metabolismo e a capacidade respiratória da bactéria, bloqueando a sua capacidade de multiplicação. Estas fibras permitem inibir a proliferação de bactérias, mas não eliminá-las totalmente, uma vez que, segundo a RSTAT, tal situação seria prejudicial para o organismo humano, uma vez que muitas constituem uma barreira contra infecções, tratando-se portanto de uma acção bacteriostática. (<http://www.polycarpet.com.br/rstat/catalogos/mais.htm>)

A empresa suíça Sanitized AG lançou um acabamento antimicrobiano – Sanitized Silver – que pode ser aplicado sem a necessidade de um ligante e não apenas através do processo de esgotamento, mas também durante o processo de impregnação em foulard. Trata-se de um produto baseado no sal de prata (prata não metálica), que é cientificamente reconhecido como possuindo propriedades antimicrobianas naturais. Como resultado, quando aplicado no tecido como acabamento, o Sanitized Silver actua sobre as membranas celulares das bactérias, impedindo o crescimento e a reprodução das bactérias responsáveis pelo desenvolvimento de odores desagradáveis.

(<http://www.portugaltextil.com/tabid/63/xmmid/407/xmid/36008/xmview/2/ID/36008/Default.aspx>)

Segundo a empresa, refere na mesma publicação, que o Sanitized Silver melhora o conforto do vestuário e não altera a sensação de suavidade dos tecidos, destinando-se essencialmente para tecidos utilizados na produção de vestuário de desporto, exterior e trabalho. Também se aplica em malhas, como t-shirts, roupa interior e meias. Apresenta uma elevada resistência à lavagem, permitindo 50 ou mais ciclos a 60°C. O vestuário mantém-se fresco durante mais tempo e pode ser lavado com frequência sem comprometer os benefícios antimicrobianos.

A empresa inglesa Courtaulds desenvolveu uma fibra acrílica de alto desempenho, a Courtek M, que impede o desenvolvimento de bactérias no vestuário e equipamentos cirúrgicos. A fibra contém uma combinação de componentes antimicrobianos baseada em sais metálicos.
(<http://textilebbs.com/viewtopic.php?f=426&t=1438&p=2611&sid=cde874c906c68602e5f3b2926676ed53>)

A empresa tailandesa Li Peng, representativa da marca Libolon, fabrica produtos com propriedades antimicrobianas quer pela utilização de fibras com estas propriedades, como por exemplo a fibra “Litan” (à base de carvão de bambu), quer por aplicação de acabamentos aos substratos têxteis, como por exemplo o produto de acabamento “Polygiene[®]”, com iões de prata.
(<http://www.citeve.eu>)

A empresa francesa Rhovyl desenvolveu uma clorofibra anti-séptica projectada no sentido de combater a proliferação de microrganismos em situação onde a higiene é de grande importância. Esta fibra contém um componente de Mercurobutol, anti-séptico que é ligado ao polímero de base durante o processamento. Esta fibra é anti-alérgica e não tóxica, bem como confortável.
(<http://www.rhovyl.com>)

A empresa ASEPR Surgical and Precautionary Apparel, especializada na produção de políester, revelou ser muito eficiente nos casos em que é necessária protecção contra bactérias. São artigos

produzidos em filamentos de poliéster sendo resistentes à humidade, leves, confortáveis e reutilizáveis. (*Sabit Adanur, 1995*)

A fibra Microsafe (acetato) da Hoechst pode ser produzida com 2000 – 20.000 ppm (0,2-2%) de aditivo (Microban/Triclosano). Trata-se de uma fibra que oferece protecção a Bactérias gram-positivas, Bactérias gram-negativas, fungos e leveduras. (*Guillén J., 2001*)

A empresa Nilit Iberica Sociedad Limitada fabricou o fio Sensil BodyFresh, de microfibras antibacterianas, finas e de alto desempenho. (<http://www.pressreleasefinder.com/item.asp?id=3920>)

DAK Americas promoveu a fibra Delcron® HydroPur, uma fibra especial de poliéster antimicrobiana, apropriada também para o controlo da humidade. Esta fibra combina estas duas propriedades que permitem o controlo de um amplo espectro de microrganismos que causam maus odores. O controlo antimicrobiano é conferido pelo agente antimicrobiano AlphaSan®, que é integrado na fibra durante a fase de polímero. (<http://www.steripuram.com/spanish/hydropur.html>)

O grupo italiano RadiciGroup, é representante do fio de nylon para tapetes, em poliamida 6, sendo as propriedades antibacterianas obtidas pela incorporação de um agente antimicrobiano da AlphaSan da Miliken & Company, com tecnologia antimicrobiana baseado em prata. (<http://www.radicigroup.com>)

A fibra SeaCell Active (fibra de algas), da empresa Seacell, é uma fibra celulósica multifuncional com propriedades bioactivas, cujas propriedades antibacterianas e efeito fungicida é obtido através da adição de iões de prata durante a produção da fibra como agentes activantes. (*Zimmer AG; Stefan Zikeli (2002), Seacell Active*)

Outros estudos têm sido realizados e o progresso tecnológico alcançado tem tido de facto como resultado a criação de novas fibras de alto desempenho, que permitem ao consumidor várias vantagens, nomeadamente propriedades antimicrobianas.

Nos quadros seguintes, apresentam-se alguns compostos e fibras antimicrobianas existentes no mercado, a origem da fibra e a empresa produtora:

Quadro 7: Compostos antimicrobianos disponíveis comercialmente (Fonte: Ramachandran et al., 2004; Broughton et al., 2000)

Compostos antimicrobianos para têxteis funcionais	Nome Comercial	Fornecedor	Método de aplicação
Siloxano quaternário	<i>Aegis Microbe Shield®</i>	<i>Aegis Environments Bioshield Technologies</i>	Tratamento Químico
Triclosano e outros	<i>Irgaguard® Sanitized® Microban®</i>	<i>Ciba Clariant Microban Products Co</i>	Incorporação no polímero Tratamento Químico
Zeolito de prata	<i>AgION™</i>	<i>AgION Technologies</i>	Incorporação no polímero
PHMA - Cloridrato de poli(hexametileno biguanidina)	<i>Reputex 20</i>	<i>Avecia Ltd.</i>	Tratamento químico substratos devem conter pelo menos 35% celulose
Diodometilp-tolilsulfona	<i>Diodometylpolyisulfone</i>	<i>Dow Chemical</i>	Tratamento Químico
N-Halaminas	<i>Halosource N-Halamines</i>	<i>Halosource Co.</i>	Tratamento Químico Pad-Dry-Cure- Branqueio com cloro
Triclosano, Diodometilptolilsulfona, isotiazolonas, compostos de amónio quaternários	<i>Ultra-Fresh®</i>	<i>Thomson Research Associates</i>	Tratamento Químico Incorporação no polímero

Quadro 8: Fibras antimicrobianas disponíveis comercialmente (Fonte: Ramachandran et al., 2004; Broughton et al., 2000; Joaquim Gacén, 2001; J. Gacén Guillén, 1999; Pintado M. et al, 2004)

Fibras antimicrobianas	Nome Comercial	Fornecedor
Poliéster	Trevira Bioactive	Trevira
	Terital Saniwear	Montefibre
	Bacterbril (Fio continuo e Fibra)	Brilén/Nurel
	Livefresh-P-Neo (Fio Continuo)	Kanebo
	Wellcare	Wellman
	Allerban (antiácacos)	Dupont
	Bactershield	Sinterama
Acrílicas	Amicor Breathe (antifungica)	Accordis
	Amicor Protect (antibacteriana)	Accordis
	Amicor Puré (antibacteriana e antifúngica)	Accordis
	Biofresh	Sterling
	Leacril Saniwear	Montefibre
	Biosafe	Kanebo
	New Tafel Parclean (Quitosano)	Mitsubishi
Poliamida	Livefresh	Kaneba
	R-Stat	R-Stat
	Meryl Skinlife	Nylstar
	X-Static	DuPont
	Trimbrelle e Trimbrelle Care	TWD
	Anso IV Halofresh	Allied Chemical
Polipropileno	Gymlene (Fio continuo e Fibra)	Drake Extrusion
	Permafresh (Fibra)	Plasticisers
	Asota AM Sanitized, Asoda AM Plus	Asota
	AM Microstop (Fibra)	Coville
	Trofil	Meraklon
Lyocell	Seacell Active	Zimmer AG
Viscose	Lenzing Viscosa (Fibra)	Lenzing
	Miley (Caseína)	Daiwabo Rayon
	Crabiyon (Quitosano) (Fibra)	Omikenshi
	Sanitized TPL89-07	Sanitized AG
Modal	Modalfresh (Fibra)	Lenzing
	Chitopoly (Quitosano) (Polinósica) (Fibra)	Fuji
Acetato	Silfresh (Fio continuo)	Novaceta
	Microsafe (Fio continuo)	Celanese
Clorofibras	Rhovyl, Rhovyl AS ⁺	Société Rhovyl

Para além das vantagens óbvias em termos de higiene e saúde, o desenvolvimento de produtos antimicrobianos vai continuar a despoletar o desenvolvimento de têxteis de elevado valor acrescentado, com vantagens para a sociedade e como um dos pilares para que o sector continue a vingar nos países desenvolvidos.

2.5.3.3 Acabamentos antimicrobianos e tecnologias têxteis em benefício dos diabéticos

Tendo em consideração a problemática do pé diabético, factores predisponentes à formação de úlceras no pé são a isquemia e a neuropatia, aos quais se juntam os factores facilitadores ou precipitantes como sejam a rigidez articular, os traumatismos físicos e químicos com rotura de pele e penetração fúngica e bacteriana.

A pele tem uma estrutura complexa e delicada. Embora as infecções cutâneas e o ressecamento da pele possam acontecer em qualquer pessoa, a diabetes aumenta o risco de invasão por bactérias e fungos. Uma infecção superficial ocorre devido a cocos aeróbicos Gram-positivos, em particular, ao estafilococo áureo e/ou ao estreptococo. Uma infecção profunda ou uma infecção com isquemia ou áreas de necrose e, geralmente, uma infecção polimicrobiana causada por cocos Gram-positivos, cepas anaeróbicas, e bacilos Gram-negativos. É provável que as espécies de bactérias, as quais normalmente não são patogénicas, possam causar infecções reais do pé diabético quando fizerem parte de uma flora mista. (*Consenso Internacional sobre Pé Diabético, 2001*)

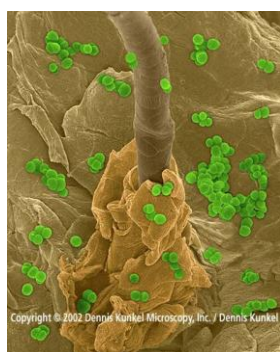


Fig. 13: Staphylococcus sp. na pele humana (Fonte: www.denniskunkel.com)

De modo a ter uma noção da microbiota do pé diabético, apresentam-se na figura seguinte alguns exemplos de espécies bacterianas isoladas de úlceras infectadas. Tratou-se de um estudo prospectivo com 141 pacientes com diabetes mellitus e úlceras infectadas nos pés, conduzido no Centro Integrado de Diabetes e Hipertensão da Universidade Federal do Ceará no período de Março de 2000 a Novembro de 2001.

Bacilos Gram Negativos		
Klebsiella pneumoniae	33	11,1%
Morganella morganii	31	10,4%
Escherichia coli	24	8,1%
Proteus mirabilis	23	7,7%
Pseudomonas aeruginosa	21	7,0%
Enterobacter aerogenes	10	3,4%
Enterobacter cloacae	08	2,7%
Enterobacter gergoviae	05	1,7%
Proteus vulgaris	05	1,7%
Citrobacter diversus	03	1,0%
Enterobacter sakazakii	03	1,0%
Klebsiella oxytoca	03	1,0%
Serratia liquefaciens	02	0,7%
Serratia marcescens	02	0,7%
Citrobacter amalonaticus	01	0,3%
Citrobacter freundii	01	0,3%
Enterobacter agglomerans	01	0,3%
Serratia odorifera	01	0,3%
SUBTOTAL	177	59,4%
Cocos Gram Positivos		
Staphylococcus aureus	61	20,4%
Enterococcus sp	11	3,7%
Streptococcus pyogenes	11	3,7%
Streptococcus sp (grupo G)	02	0,7%
SUBTOTAL	85	28,5%
Anaeróbias Estritas		
Bacteroides do grupo fragilis	10	3,4%
Peptostreptococcus sp	09	3,0%
Bacilos gram (-)	08	2,7%
Bacilos gram (-) pigmentados	08	2,7%
Fusobacterium nucleatum	01	0,3%
SUBTOTAL	36	12,1%
TOTAL	298	100%

Fig. 14: Espécies bacterianas isoladas de úlceras infectadas em pacientes diabéticos
(Fonte: Bacteriologia em Pé Diabético, Carvalho et al)

A pele do diabético é portanto menos resistente a potenciais infecções, pois os níveis elevados de glicose no sangue, fazem com que o corpo perca líquido, resultando uma pele mais seca, podendo levar a lesões (fissuras ou rachaduras) que, estando pois mais expostas à invasão por bactérias ou fungos, causam infecções com graves consequências.

A infecção no pé diabético é uma ameaça que pode causar de 25-50% das amputações, razão pela qual deve ser tratada de forma imediata. (*Consenso Internacional sobre Pé Diabético, 2001*)

As infecções, segundo Sader HS et al, 2003, podem ser classificadas em:

- infecções leves ou sem risco de perda do membro (non-limb-threatening infections), sendo que se caracterizam como sendo infecções superficiais, sem grande toxicidade sistémica, com grau de ulceração e/ou celulite pequeno (menos de 2 cm) ou inexistente, e grau de isquemia baixo;

- infecções com risco de perda do membro (limb-threatening infections), que se caracterizam por possuírem alto grau de ulceração e/ou celulite, sendo que a úlcera atinge o tecido celular subcutâneo, havendo presença de linfangite e isquemia importante.

Importa referir que, a população microbiana inicial da pele é de cerca de 10.000 a 100.000 bactérias por centímetro quadrado, sendo maior nas áreas mais húmidas. Após uma lavagem adequada, a população microbiana da pele é reduzida para 100 a 1000 bactérias por centímetro quadrado. Porém, devido à sua grande capacidade de multiplicação, após cerca de 2 horas, o número de bactérias original já se encontra reconstituída. (*Revista SBCC/Páginas: 24, 25 e 26. - Edição Nº 26 Janeiro/Fevereiro 2007*)

A capacidade de proliferação dos microrganismos, favorecida em ambientes quentes e húmidos, vem reforçar a importância de se efectuar, quer uma adequada higiene aos pés, quer a utilização de meias que favoreçam a protecção antimicrobiana (e consequentemente o controlo de odor) e uma gestão de humidade eficaz.

Uma das características mais importantes que qualquer peça de vestuário deve possuir, principalmente meias e roupa interior, é o de permitir conforto. Contudo, a maior ou menor capacidade do substrato têxtil na eliminação da humidade da superfície, influenciará grandemente esse conforto.

Em condições normais de actividade, se não resultar um nível de transpiração elevado, pelas suas propriedades hidrofílicas, as fibras naturais como a lã e o algodão permitem um conforto adequado. No entanto, é paradoxal que quando o corpo produz níveis intensos de transpiração, a mesma natureza hidrofílica dessas fibras naturais causa desconforto, devido à natural capacidade de retenção de água, uma vez que, com a transpiração, as fibras saturam-se de humidade e inibem a difusão da água para a superfície do substrato têxtil onde poderia ocorrer a sua evaporação.

Sob condições de intensa transpiração, as fibras sintéticas relativamente hidrofílicas tendem a ser mais eficazes na gestão de humidade, uma vez que são fibras que tendem a difundir a humidade de fora do corpo até a superfície do substrato têxtil, onde pode ocorrer a evaporação.

De facto, há que realçar a preocupação clara que os fabricantes de meias têm tido na optimização das funcionalidades de respirabilidade e de gestão da humidade dos produtos que concebem.

Neste campo, a Dupont distinguiu-se pela fabricação de uma fibra de poliéster de quatro canais, que denominou de Coolmax, a qual possui uma capacidade elevada de difusão da humidade e por isso, elevados níveis de conforto.

As fibras reguladoras de humidade apresentam pois um desempenho permanente, com secagem rápida, através do movimento contínuo da humidade/transpiração.

Por todas as características e propriedades das fibras, o tipo de composição mais adequada para as meias que os diabéticos devem usar, tem sido debatida por vários profissionais (médicos, enfermeiros, podologistas, farmacêuticos, outros profissionais de saúde de índole diversa).

As fibras naturais algodão ou lã são da preferência de uns, outros dão preferência a meias de acrílica justificando que são mais absorventes e confortáveis. Uns recomendam misturas algodão/lã, outros preferem misturas com sintéticas ou acrílicas. Outras recomendações sugerem as fibras sintéticas e outras ainda as misturas de sintéticas ou de acrílicas com as fibras naturais. (Carol B. Feldman e Ellen D. Davis, 2001)

Guerreiro e Bia (2006), consideram que as meias devem ser pouco espessas, de cor clara, sem costuras salientes, sem elásticos que garrotem as pernas, feitas de materiais adaptados a cada estação do ano e mudadas diariamente.

Contudo, apesar das várias opiniões relativamente à composição das meias, a opinião é unânime relativamente ao facto de que, os diabéticos devem usar sempre meias.

Por outro lado, o uso de meias adequadas contribui positivamente para a diminuição do atrito e da pressão a que os pés estão sujeitos, sendo estes potenciadores do desenvolvimento de úlceras. Define-se por atrito (fricção), a resistência que qualquer corpo enfrenta ao movimentar-se sobre outro corpo. Quanto mais irregulares forem as superfícies em contacto, maior será o atrito. Quanto mais lisas as superfícies em contacto, menor será o atrito. (Diabet Protat, 2008)

Quanto mais irregular for o formato do pé, maior será a probabilidade de destruição dos tecidos induzida por atrito sobre irregularidade. O Atrito constante e rápido contra a pele forma bolhas. O atrito intermitente e lento causa calosidades e calos.

Define-se por pressão, a força exercida por um corpo sobre outro em virtude de seu peso. Para determinado peso, a pressão é inversamente proporcional à área sobre a qual o corpo se apoia.

Quando a área aumenta, a pressão diminui e, quando diminui, a pressão aumenta. (*Diabet Protat, 2008*)

A pressão directa e constante contra um tecido acarreta isquemia e necrose. A pressão directa e intermitente contra um tecido acima dos limites normais de tolerância acarreta hiperemia localizada, edema e eventual destruição dos tecidos se a pressão não for eliminada. (*Diabet Protat, 2008*)

As lesões que ocorrem nos tecidos diminuem as defesas normais do organismo contra infecções e além disso, fica favorecido o ataque por micróbios.

Neste campo, e, dada a problemática do pé diabético, têm sido desenvolvidas algumas tecnologias em termos de têxteis que incorporam funções, como uma solução alternativa com vista a garantir a qualidade de vida dos pacientes diabéticos.

Refira-se que a qualidade de vida é um conceito que abrange uma larga série de características físicas e psicológicas e durante as duas últimas décadas tem surgido como um atributo importante a ter em consideração na investigação clínica e nos cuidados aos doentes.

O óxido de cobre, sendo um poderoso agente antimicrobiano, tem sido muito usado em tecidos e outros materiais, como forma de combater a propagação de ácaros, bactérias e fungos. Registam-se aplicações em lençóis, fronhas, roupa de cama, meias, cortinas, etc.

A empresa Cupron, localizada na Carolina do Norte, tem feito inúmeras investigações com este agente, e desenvolveu uma parceria em 2007 com a empresa Renfro, uma das maiores empresas fabricantes de meias nos Estados Unidos, de modo a fabricar meias com óxido de cobre como prevenção das infecções nos pés dos pacientes diabéticos. (*Procobre, 2007*)

Em 2007 também o Instituto de Química da Universidade de Campinas, no Brasil, criou um tecido impregnado com nanopartículas de prata (a prata não é obtida quimicamente, mas sim a partir do fungo *Fusarium oxysporum* em solução de nitrato de prata, sendo que, neste ambiente ocorre uma reacção química – oxi-redução, que produz a prata em estado metálico), cuja tecnologia desenvolvida foi também aplicada na confecção de meias para diabéticos. (*Diário Oficial Poder Executivo - Seção I, São Paulo, Nov2007*)

A empresa Noble Fiber Technologies tirou proveito das propriedades benéficas da prata para produzir o "X-static", uma fibra de nylon recoberto de prata, mantendo contudo as suas características têxteis convencionais. A vantagem desta fibra sobre outros produtos

antimicrobianos é a sua ampla aceitação pela comunidade médica, constituindo uma alternativa natural. (ABQCT- *Química Têxtil* - n° 74/mar.04)

A Dupont Performance Fabrics, fabricante da fibra Coolmax, e a Noble Fiber Technologies formaram uma aliança comercial, de modo a permitir a venda de um sistema de controlo da humidade antimicrobiana para aplicações na fabricação de meias. (ABQCT- *Química Têxtil* - n° 74/mar.04)

A Relaxsan, empresa italiana especializada na confecção de meias para a prevenção e uso terapêutico, fabricou umas meias com propriedades específicas para diabéticos, as quais não exercem compressão e não utilizam elástico, de modo a favorecer a circulação sanguínea (meias seamless). A ponta de costura é completamente arredondada, evitando qualquer tipo de irritação da ponta em contacto com os dedos dos pés. As meias concebidas pela Relaxsan são em algodão com X-Static (fibra de prata) cuja composição é 82% algodão, 9% X-Static, 6% poliamida e 3% elastano. Concebeu ainda outro modelo de meias em algodão com crabyon (Fibra natural de caranguejo constituída por quitina/quitosano e celulose), que permitem activar a regeneração celular, cuja composição é 75% Algodão, 19% Crabyon, 4% Poliamida e 2% Elastano. Estas meias caracterizam-se por permitir propriedades de termo-regulação, controlo de odores, terapêuticas, antimicrobianas e anti-estáticas. (http://www.norfarma.pt/?page=meias_diabeticos)

Também a Ames Walker, na Carolina do Norte, possui uma panóplia de meias que garantem a qualidade e conforto desejado para aqueles que sofrem dos sintomas consequentes da diabetes. Na concepção das meias recorre quer a fibras de alto desempenho, como o poliéster Hydrotec e o poliéster Coolmax (fibras de alta tecnologia em termos de gestão de humidade), quer a fibras acrílicas com actividade antimicrobiana, quer ainda a misturas de fibras de poliéster/lã/nylon, acrílico/nylon/spandex, algodão/nylon, algodão/poliamida/licra, entre outras, com características antimicrobiana, seamless e de gestão de humidade. (<http://www.ameswalker.com>)

O grupo Acordis é responsável pelo desenvolvimento e aplicações das fibras antimicrobianas, conhecidas por Amicor Pure, as quais impedem o desenvolvimento de organismos nocivos em têxteis que coloquem um risco adicional ao controlo de infecção e higiene, sendo que vários fabricantes especializados na produção de meias para diabéticos adoptaram Amicor Pure. (http://www.amicorpure.co.uk/sites/amicor/home/_resource/media_packs/portuguese.pdf)

A tecnologia hoje permite que os fabricantes de meias possam associar produtos “moda” a acções terapêuticas, apresentando regularmente produtos inovadores e diferenciados no mercado.

Além das meias, têm sido desenvolvidas outras alternativas pela indústria têxtil em prol da qualidade de vida dos diabéticos, nomeadamente, a concepção de tecidos compostos com microcápsulas de remédios (diabetes e outras), com perfumes, com protector solar e ainda roupas anti-stress que possuem na sua composição produtos que activam a circulação, provocando melhor oxigenação do organismo e maior conforto.

Também o projecto europeu BIOTEX-Têxteis Bioactivos por incorporação de biopolímeros funcionais permite um elevado número de novas potencialidades, através de biosensores miniaturizados, passíveis de serem incorporados em estruturas têxteis e que conseguem através da análise de fluidos corporais (ex: suor), fornecer uma avaliação sobre a saúde do indivíduo. Esta tecnologia ainda não está validada. Contudo, é objectivo que nos primeiros ensaios do BIOTEX, as estruturas inteligentes sejam utilizadas em vestuário para pessoas com obesidade e diabetes, assim como para atletas.

(<http://www.portugaltexil.com/tabid/63/xmmid/407/xmid/34173/xmview/2/ID/34173/Default.aspx>)

Recentemente os estudantes de moda das faculdades de São Paulo foram os escolhidos, pela Roche Diabetes Care, para desenvolver, no "1º Concurso de Moda e Saúde Accu-Chek", um acessório prático e moderno para transportar o novo monitor de glicemia Accu-Chek. Pretende-se deste modo apoiar os diabéticos, de modo a que, o necessário monitor de glicemia seja atractivamente transportado como acessório complementar ao seu visual. Também esta iniciativa se revela promissora no bem-estar dos diabéticos.

(<http://www.carreirafashion.com.br/site/inicial/noticia.asp?codigo=1099>)

Estão também a ser desenvolvidos estudos na Universidade Estadual de Carolina do Norte, no sentido de incorporar na roupa interior dos diabéticos, bio-sensores que permitam medir os níveis de glicose, os sinais vitais, entre outros dados (temperatura, pressão sanguínea, ...), sendo os dados comunicados para um computador, PDA ou telemóvel, de modo a que se possa ajustar/orientar a medicação em função dos dados lidos. Pretende-se neste campo que os já existentes sensores sejam compatíveis com o vestuário, nomeadamente em termos de conforto, durabilidade, lavagem e fiabilidade das leituras.

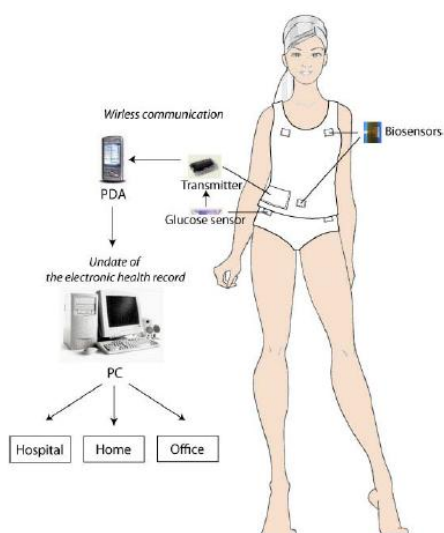


Fig. 15: Arquitectura de roupa interior para pacientes diabéticos (Fonte: Lim, H., 2009)

CAPÍTULO III – Fundamentação teórica

3.1 Conceitos de tecnologia de malhas

3.1.1 *Introdução*

A indústria de malhas tem vindo a evoluir rapidamente nos países mais desenvolvidos do mundo. Ao contrário dos tecidos, os artigos de malhas são populares pelas suas propriedades de adaptação de forma, pela sua textura, macieza, voluminosidade e maior extensão a baixa solicitações.

A indústria de malhas tornou-se popular na Inglaterra do Século XVI através da fabricação expedita e em quantidade de meias e collants, na medida em que permitia a cobertura completa das pernas.

A invenção da primeira máquina de confecção de malhas é geralmente atribuída ao Reverendo William Lee no ano de 1589 em Inglaterra. A máquina de Lee, utilizada para a manufactura de meias, estabeleceu o princípio da máquina de agulhas com talão. (Choi W. et al, 2005)

No século dezanove muitos outros inventores contribuíram para converter as máquinas de controlo manual em máquinas operadas a vapor, através das quais a velocidade de tricotagem seria 100% maior.

A invenção da agulha de lingueta e a sua introdução nas máquinas de malhas circulares (primeira máquina criada em 1808) simplificou o acto da confecção e permitiu às máquinas de confecção de malhas circulares serem construídas para produzir estruturas como jersey, canelado e ponto esquerdo.

3.1.2 *Estruturas da indústria de malhas de trama*

Na indústria das confecções, o produto final é geralmente um artigo de vestuário, cujas especificações finais dependem do seu conforto ao uso.

Apesar da enorme variedade de artigos de malharia e do crescimento multidimensional da indústria de malhas, o quadro seguinte serve para compreender a estrutura global da indústria de confecção de malhas de trama:

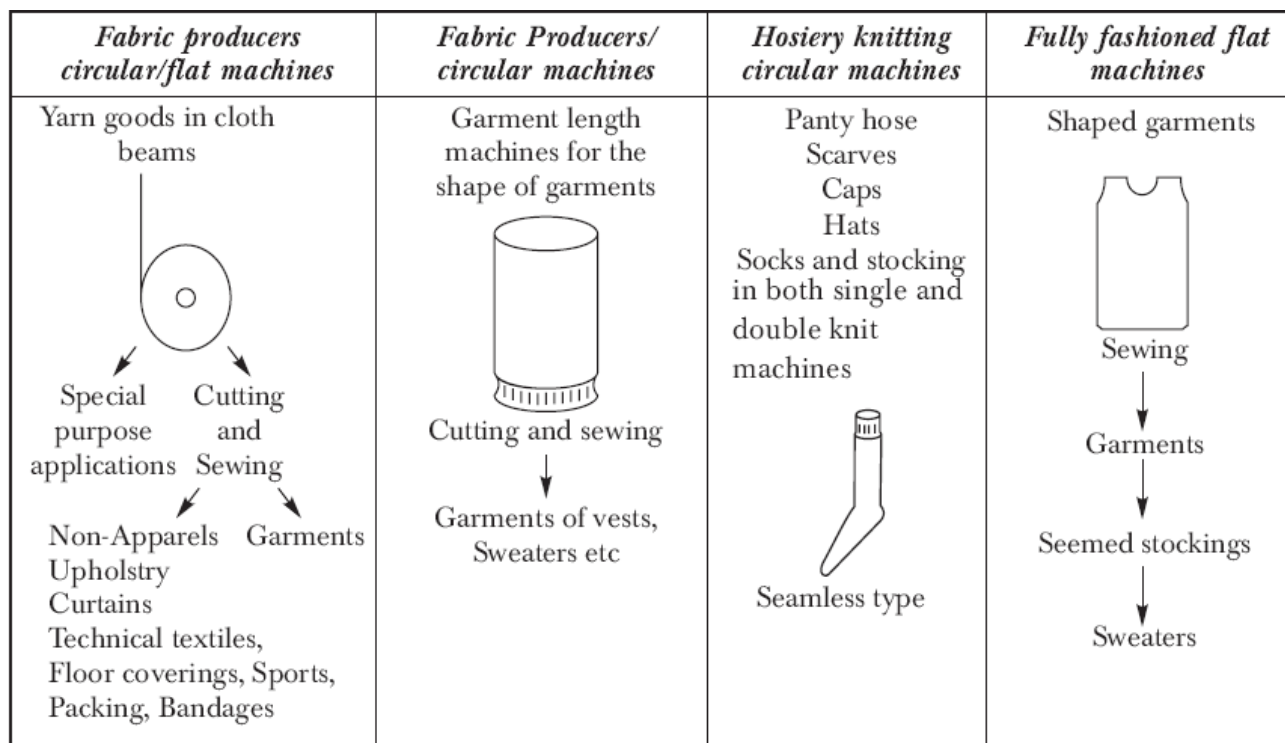


Fig. 16: Estrutura da indústria de malhas de trama (Fonte: Choi W. et al, 2005)

3.1.3 Comparação entre tecidos e malhas

A indústria de malhas começou inicialmente pela utilização da lã como matéria-prima de base, mas rapidamente se estendeu ao algodão e, posteriormente, para as fibras não naturais, incluindo todo o tipo de misturas.

A malharia é um processo comparativamente mais rápido e mais económico para converter o fio em têxteis planares, e até directamente em fatos, meias, etc. A confecção directa de peças de vestuário é possível na malharia, o que não acontece na tecelagem.

Para além de serem mais económicas, as peças de vestuário construídas com malhas são mais flexíveis e oferecem maior conforto dada a sua excelente capacidade de adaptação de forma. Graças às modernas tecnologias e ao crescente automatismo dos teares de malhas as possibilidades de design são muito alargadas, e a produção massiva um atributo desta indústria.

As seguintes considerações estabelecem uma comparação sumária entre as malhas e os tecidos:

- Os tecidos são produzidas pelo entrelaçamento dos fios da teia e da trama o que requer a utilização de pelo menos 2 sistemas de fios para a sua produção. A fabricação de malhas requer apenas um fio (malhas de trama);
- A elasticidade e a flexibilidade dos tecidos é muito menor que a das malhas, com a excepção da utilização de fios elásticos especiais. As malhas têm a capacidade de envolver o corpo e se adaptarem bem ao movimento;
- Os tecidos apresentam uma maior durabilidade que as malhas e dependem directamente da regularidade do fio, do valor da sua torção e da estrutura de fabrico. A durabilidade das malhas depende da tenacidade do fio, do tamanho das laçadas, da densidade do ponto e da estrutura da malha.
- A absorção da humidade nas malhas é superior à dos tecidos devido à sua elevada voluminosidade;
- A intersecção dos fios em ângulos rectos fornece boa estabilidade aos tecidos, logo não existem muitos problemas de tapamento e de folgas. Devido à estrutura aberta das espirais e à incapacidade de regressar à forma original após extensão, estas perdem propriedades ao longo do tempo de uma forma mais acentuada;
- Apesar da permeabilidade ao ar, da condutividade térmica e das propriedades de isolamento dependerem da estrutura, da fibra, da espessura do artigo, da sua construção e dos processos de acabamento, as malhas, com a sua estrutura aberta e voluminosa apresentam melhores valores nestas propriedades;
- Os tecidos são mais inclinados à formação de vinco e a suas propriedades de estabilização dimensional são melhores que as das malhas. As malhas são mais resistentes ao vinco e os seus artigos podem ser utilizados sem a necessidade de serem “passados a ferro”.

3.1.4 Classificação sistemática dos teares de malha de trama

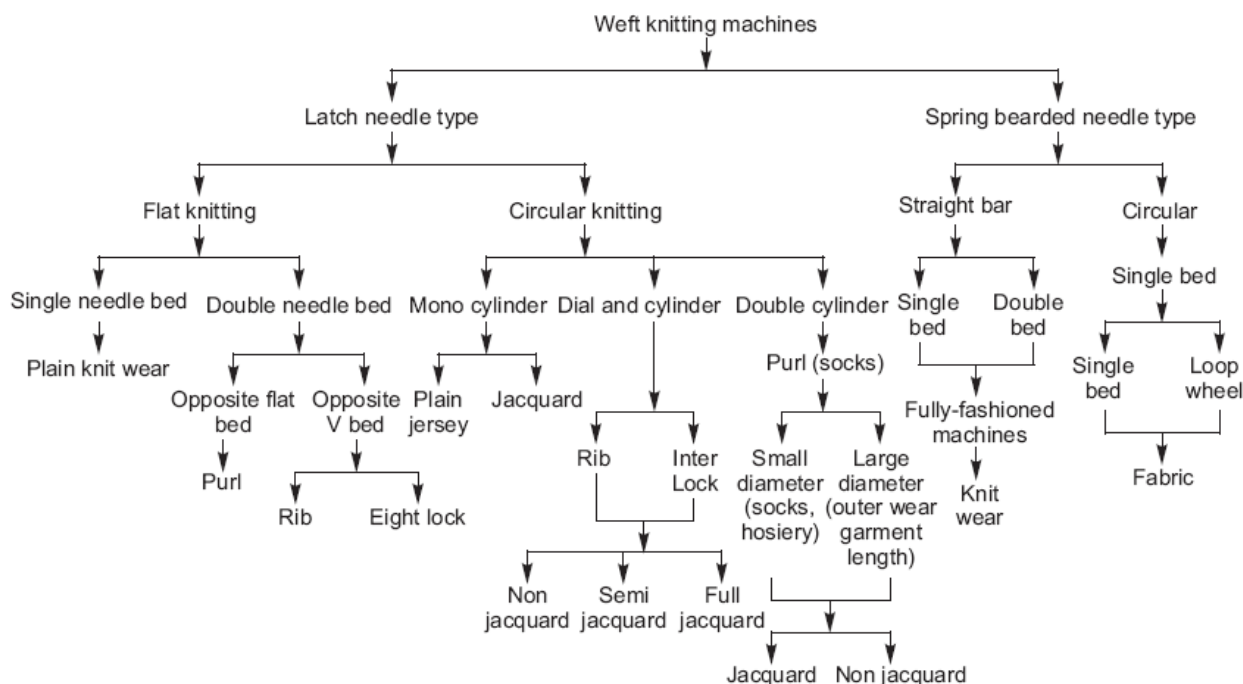


Fig. 17: Classificação sistemática das máquinas de malhas de trama (Fonte: Choi W. et al, 2005)

3.1.5 Requisitos de qualidade nos fios para malhas de trama

As características dos fios têm a maior influência não só no desempenho das malhas, como também na sua aparência final. Melhorias no desempenho da indústria de confecção de malhas exigem melhorias nos teares de malhas, bem como, a uma optimização das propriedades dos fios utilizados. Os vários tipos de fios para a fabricação de meias são manufacturados usando um alargado conjunto de fibras e de tecnologias disponíveis.

As seguintes características são os requisitos de qualidade mais importantes para a fabricação de meias de uma forma eficiente:

- Valores elevados da energia de rotura;
- Elevado alongamento na rotura;
- Boa resiliência;
- Boa tenacidade e resistência das laçadas;
- Elevada resistência à fadiga;
- Regularidade da massa linear, do valor da torção e da taxa de humidade residual;
- Baixo valor do coeficiente de fricção.

O quadro seguinte dá uma idéia geral dos requisitos dos fios para a fabricação de meias:

Quadro 9: Requisitos dos fios para a fabricação de meias (Fonte: Choi W. et al, 2005)

PARÂMETROS	VALORES				
Título (Ne)	30s & 32	34 & 36	39 & 40	40s penteado	Valores padrão
CV% Título	2.4	2.2	2.6	2.5-3	<2
RKM (CN/Tex)	15.3	15.0	15.0	16.0	>10 CN/tex
Cv% RKM	5.6	6.0	6.2	5.4	<5.5
% Alongamento	5.4	5.2	5.2	7.0	>5
U%	11.2	12.0	12.4	10.5	<10
Índice de Piloidade	6.4	6.2	7.1	6.5	<7

3.1.6 A tecnologia de malhas seamless

A produção integral de artigos de vestuário em máquinas de duas frentes (V-bed) permite a eliminação de operações de corte e costura posteriores, com a concomitante redução de custos de mão-de-obra, equipamento, energia e espaço fabril.

A peça de vestuário pode fabricada numa forma tubular ou linear em máquinas produzidas pelas duas empresas que lideram este sector: a Shima Seiki e a Stoll. Estes teares possuem a capacidade de criarem malhas com uma forma pré-definida, com variadas estruturas e design, alternando a selecção de agulhas e de frentes de trabalho.

3.1.6.1 Potenciais benefícios da tecnologia seamless

1. Minimização do trabalho intensivo de corte e costura na montagem das peças de vestuário;
2. Redução de custos e ganhos de tempo de produção;
3. Consumo mínimo de fio;
4. Maior produtividade;
5. Malharia com agulhas de vários calibres;
6. Artigos mais leves e suaves;
7. Ausência de costuras volumosas e irritantes;
8. Qualidade de produção mais uniforme;
9. Aumento da perfeição das uniões com ajuste melhorado, melhor adaptação de forma e maior conforto;

10. Maiores possibilidades criativas para os designers;
11. Resposta rápida na produção a alterações de tamanho e de estrutura;
12. Produção personalizada.

3.2 Conceitos de microbiologia

A diversidade genética e metabólica dos microrganismos tem sido explorada há muitos anos, tendo uma participação benéfica em várias áreas, tais como a produção de antibióticos (estreptomicina, penicilina, Tetraciclina, Eritromicina, etc.), de alimentos (e.g., cogumelos), processamento de alimentos (queijo, iogurte, vinagre, etc.), bebidas alcoólicas (vinho, cerveja, etc.), ácidos orgânicos (cítrico e fumárico), álcoois (etanol), alimentos fermentados (molho de soja), tratamento e/ou eliminação de resíduos (esgotos domésticos, lixo), e, na agricultura, na fertilização de solos (fixação biológica de azoto) e controlo biológico de pragas e doenças (controlo da lagarta da soja, da cigarrinha da cana de açúcar, de fitopatógenos como *Rhizoctonia* e outros).

Contudo, os microrganismos também provocam eventuais doenças no homem.

A possibilidade da existência de entidades invisíveis ao olho humano e que seriam a causa das doenças infecciosas remonta à Antiguidade. Em 1546, o monge e médico italiano Girolamo Fracastoro (1483-1553) publica o livro "De contagione et contagionis" no qual especulava que doenças contagiosas eram causadas por "germes vivos" que se transmitiam, de alguma forma, de pessoa a pessoa. Por esta altura, as doenças eram consideradas como castigo divino, pelo que pouca atenção foi dada à descoberta.

A primeira pessoa a relatar a observação de micróbios com um microscópio foi o inglês Robert Hooke em 1665 que, com um microscópio bastante rudimentar observou estruturas celulares de plantas e de fungos.

No entanto, considera-se que a microbiologia como ciência deu os seus primeiros passos no período entre 1673 e 1723 quando o comerciante de tecidos holandês Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) munido de microscópios rudimentares dotados de uma única lente com baixo poder de resolução observou algas, protozoários, leveduras e bactérias. As descobertas que levou a cabo e as suas observações despertaram o interesse de outros cientistas, levando-os a desenvolverem estudos mais rigorosos acerca dos microrganismos.

Contudo, a microbiologia teve um desenvolvimento muito lento até meadas do século XIX, altura em que conheceu um novo avanço com o desenvolvimento de microscópios de alta qualidade juntamente com o aperfeiçoamento de técnicas de esterilização, cultivo de microrganismos e técnicas citológicas.

Nesta altura Louis Pasteur, considerado o Pai da Microbiologia, e Robert Koch através de experiências mais avançadas desenvolveram estudos que conduziram ao estabelecimento das bases da microbiologia como ciência experimental estruturada e especializada, dando assim a esta ciência a devida importância.

As contribuições de Pasteur vão desde a distribuição dos microrganismos no ambiente aos meios para controlá-los, passando pela refutação da teoria da geração espontânea, mas também pelo desenvolvimento das teorias microbianas das fermentações e doenças, e o desenvolvimento de vacinas efectivas para controlo de doenças animais ou por exemplo para a raiva humana. Também, essas contribuições deram o impulso inicial para que pesquisadores como Lister, desenvolvessem as práticas da cirurgia anti-séptica, Ehrlich a quimioterapia, e para o desenvolvimento da Imunologia (Metchnikoff e Ehrlich) e da virologia.

Em 1867, Lister, em Glasgow, demonstrou a relação entre o material têxtil e as infecções, quando procurava o “anti-séptico ideal” que, administrado aos doentes, fosse capaz de matar os microrganismos sem provocar efeitos tóxicos graves. Nesta pesquisa, impôs a esterilização pelo calor dos instrumentos cirúrgicos e das roupas do campo operatório, o que se traduziu na redução das infecções pós-operatórias. (Velooso A. J. B., 2004)

A Microbiologia deixa então de ser uma ciência meramente descritiva para centrar-se no estudo da complexidade estrutural, fisiológica, genética e ecológica dos microrganismos, bem como das inúmeras actividades por eles desempenhadas.

Nos últimos anos tem-se assistido a uma ligação cada vez mais acentuada entre o sector têxtil e a microbiologia. De facto quando os microrganismos proliferam nos têxteis, afectam em parte a sua aparência (manchas nos tecidos, descoloração, perda de propriedades funcionais,), conforto para quem usa e eventualmente até a saúde de quem os usa.

A utilização quotidiana dos têxteis facilita o contacto com diferentes substâncias, como o suor, pele morta e sujidades diversas, que originam uma óptima fonte de nutrientes para o desenvolvimento microbiano.

O suor é composto sobretudo por água, que corresponde a 99% do seu volume, sendo igualmente constituído por várias substâncias dissolvidas, nomeadamente cloreto de sódio (sal comum) e em menor escala lactatos, amoníaco, ácido ascórbico e outros produtos do metabolismo. Embora existam inúmeras glândulas sudoríferas, distribuídas por toda a superfície corporal, a sua distribuição difere consoante as áreas, já que são especialmente abundantes nas palmas das mãos e nas plantas dos pés, na fronte e no peito.

A secreção do suor é controlada pelo sistema nervoso e é produzido como resposta a dois tipos de estímulos, os eminentemente fisiológicos, que participam no controlo da temperatura do corpo e os de natureza psicológica, como resposta às situações de stress. (*Medipedia, conteúdos de saúde, 2008*)

Se a isto se associar o facto de que a temperatura corporal oscila entre 30 a 37°C, facilmente se prevê um ambiente ideal para a multiplicação microbiana. Adicionalmente, devido ao contacto entre a pele e os têxteis, também estes ficam com um elevado número de microrganismos. As condições ambientais nos têxteis são similares às da pele e ambos suportam o desenvolvimento de bactérias.

A consciencialização para os aspectos higiénicos e para as consequências nocivas dos microrganismos, tem potenciado o crescimento dos acabamentos antimicrobianos em substratos têxteis, apresentando-se no mercado uma larga oferta de fibras e de compostos antimicrobianos (alguns exemplos foram apresentados no capítulo II).

3.2.1 Métodos de aplicação de compostos antimicrobianos nos materiais têxteis

Os agentes antimicrobianos têm como principais funções inibir a transferência e o alastramento do contacto com os microrganismos patogénicos (cuidados higiénicos) e como consequência a redução do odor causado pela degradação microbiana (desodorizante), mas também evitar a perda das características das fibras.

Relativamente ao modo de aplicação, os compostos antimicrobianos podem ser aplicados aos substratos têxteis de duas formas, nomeadamente:

- Incorporação do agente antimicrobiano na fibra – viável para fibras sintéticas e artificiais;
- Aplicação do agente antimicrobiano posteriormente como um acabamento (por esgotamento, impregnação, revestimento, spray ou espuma) – aplicável praticamente a qualquer tipo de fibra, fios, tecidos, artigos confeccionados.

Qualquer um dos métodos permite obter produtos têxteis com propriedades antimicrobianas, cumprindo os requisitos de, vasto espectro antimicrobiano e de perfil seguro para o consumidor.

Todavia, durante o seu ciclo de vida, os artigos têxteis são sujeitos a variadíssimas lavagens, pelo que é imprescindível garantir a durabilidade do acabamento antimicrobiano, caso contrário, as propriedades antimicrobianas ficam comprometidas.

Neste contexto existem vários métodos para melhorar a durabilidade do efeito pretendido, sendo os mais usuais:

- Insolubilização das substâncias activas na fibra

Incorporação de agentes no processo de fabrico das fibras sintéticas ou regeneradas ou através da impregnação de substratos têxteis compostos por fibras naturais ou sintéticas com soluções que quando evaporadas depositam agentes insolúveis na fibra.

- Microencapsulação dos agentes antimicrobianos

Técnica físico-química na qual é mantido o princípio activo do agente antimicrobiano no interior de uma microcápsula. À medida que o composto activo é utilizado, dá-se a sua substituição por quantidades adicionais provenientes da microcápsula por um mecanismo de libertação controlado. Processo que pode ser utilizado em vários tipos de fibras como o poliéster, fibras celulósicas, acetato de vinilo, polietileno, etc.

A incorporação de microcápsulas com o princípio activo antimicrobiano durante os processos de extrusão das fibras ou por revestimento na superfície das fibras é uma metodologia que permite uma duração prolongada da actividade antimicrobiana ao longo do ciclo de vida do artigo têxtil, mesmo após lavagens múltiplas (*Grabowska et al., 2004, Schindler et al., 2005*).

- Revestimento da superfície da fibra

Aplicação possível para todo o tipo de fibras, sendo capaz de produzir actividade contra uma vasta gama de microrganismos. Têm uma boa resistência a lavagens normais.

- Modificação química da fibra

A actividade antimicrobiana é conseguida, modificando os vários compostos no banho de extrusão de fibras sintéticas ou das fibras de celulose regenerada. As fibras acrílicas, poliamida, acetato de celulose, polipropileno, polietileno são modificadas por insolubilização de 0.5-2% de vários compostos nitro no banho. As fibras celulósicas são modificadas usando uma estratégia diferente, isto é, por introdução de grupos ácidos carboxílicos e sulfónicos e provocando a sua imersão em germicidas catiónicos.

- Grafting

Utilização de enxertos de polímeros, homo polímeros ou copolimerização na fibra, de forma a criar grupos funcionais carregados positivamente ou negativamente na fibra. A polimerização de enxertos nos têxteis celulósicos com poli(1,2-metil-5-vinilpiridina) seguido de tratamento com solução de iodeto de potássio é um das técnicas conhecidas para a promoção de actividade antibacteriana e antifúngica.

3.2.2 Mecanismo da actividade antimicrobiana

Diferentes autores assumem diferentes critérios no que se refere ao mecanismo de actividade dos agentes antimicrobianos.

Bresolin & Cechinel-Filho (2003) diferencia os agentes antimicrobianos entre específicos (aqueles que agem sobre o organismo invasor, sem afectar o hospedeiro) e inespecíficos (os que são capazes de matar ou inibir o crescimento microbiano *in vitro*).

Uma outra classificação diz que os agentes antimicrobianos que inibem o crescimento e desenvolvimento dos micróbios são geralmente denominados como biostáticos, bacteriostáticos e fungistáticos, ao invés, os produtos antimicrobianos que destroem os microrganismos, são designados como, biocidas, bactericidas e fungicidas (*Ramachandran et al., 2004; Schindler et al., 2005*).

O grau de actividade é neste caso diferenciado pelo termo “cida”, que indica destruição significativa dos micróbios e o termo “stático” que representa a inibição do crescimento microbiano, sem no entanto, existir destruição dos microrganismos.

Segundo *Purwar et al., 2004*, a actuação do composto antimicrobiano ocorre devido a diversos factores, nomeadamente, degradação da parede celular ou inibição do seu metabolismo, alteração da permeabilidade da membrana citoplasmática, variação do estado físico e químico das proteínas e ácidos nucleicos, inibição da síntese dos mesmos e impedimento da acção enzimática.

Silva (2006), classifica os antimicrobianos segundo a sua química de origem, farmacocinética e farmacodinâmica. A classificação segundo a farmacodinâmica tem em consideração os diferentes mecanismos de acção dos antimicrobianos, nomeadamente:

- a) inibição da síntese do peptidoglicano da parede celular bacteriana ou do β -1,3- glicano/quitina da parede celular do fungo;
- b) lesão da membrana citoplasmática, interferindo na sua função;
- c) interferência na síntese e replicação de DNA;
- d) inibição da RNA-polimerase dependente de DNA, e consequentemente da transcrição do ácido nucleico e síntese proteica;
- e) inibição competitiva da síntese de metabólitos essenciais.

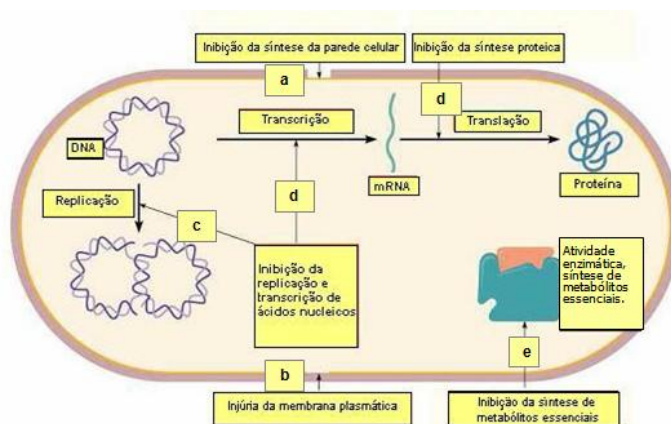


Fig. 18. Mecanismo de acção dos antimicrobianos. (Fonte: Adaptado de Tortora et al., 2001)

Os microrganismos patogénicos são inibidos ou destruídos pelos compostos antimicrobianos de várias formas.

Consoante a capacidade de migração no substrato têxtil, os agentes antimicrobianos podem ser classificados em dois grupos (*Citeve, 2008*):

- Difusão, isto é, o agente antibacteriano difunde-se do tecido ou material onde foi aplicado para reagir com o microrganismo e actuar com um veneno. Os agentes difusores conseguem ser eficazes na superfície da fibra e no meio envolvente. Contudo, apresentam algumas desvantagens, como a pouca durabilidade (uma vez que o agente microbiano tende a esgotar-se) e a possibilidade de afectar a flora da pele (pode atravessar a barreira epitelial e causar prurido e irritação). Uma outra limitação deste género de agentes é permitir a adaptação dos microrganismos, perdendo assim toda a sua eficácia;
- Utilização de moléculas que estão quimicamente ligadas à fibra. O agente permanece ligado ao substrato e actua quando os microrganismos entram em contacto com o mesmo. O agente controla apenas microrganismos presentes na superfície da fibra e não os que estão presentes na zona envolvente.

Este tipo de compostos antimicrobianos como não se difundem para o exterior, são menos absorvidos pela pele e consequentemente são potencialmente mais inócuos para o utilizador (Kotowa *et al.*, 2004)

3.2.3 Avaliação da actividade antimicrobiana

São considerados agentes antimicrobianos todas as substâncias que possuem uma ou mais zonas activas capazes de estabelecer interacções adversas com componentes celulares em sítios alvo específicos das células microbianas (Paulus, 1993).

De uma forma mais pragmática, pode-se também definir substância antimicrobiana como sendo uma substância que exerce um efeito adverso na viabilidade (microbicida) ou no crescimento e reprodução (microbioestático) de microrganismos (Paulus, 1993; Bott, 1995; Denyer, 1996; Gaylarde e Morton, 1999).

Geralmente, é a concentração da substância química antimicrobiana que determina a natureza da acção: se a concentração é baixa para as características do sistema onde é aplicado, então o efeito é de carácter bioestático; se a concentração é suficientemente elevada o agente actuará numa estrutura vital das células e a sua acção classificar-se-á como biocida (Woodcock, 1988; Paulus, 1993; Gaylarde e Morton, 1999).

A actividade antimicrobiana de um composto pode ser quantificada com base na determinação da concentração mínima do composto capaz de inibir o crescimento de um dado microrganismo, um valor chamado CIM (Concentração Inibitória Mínima).

Este valor CIM não é constante, uma vez que é influenciado pela natureza do microrganismo testado, pela quantidade de inóculo, pelo tempo de incubação, pela composição do meio de cultura e pelas condições ambientais (temperatura, pH, concentração de oxigénio, ...).

Quando todas estas condições são padronizadas, é possível comparar a actividade de diferentes agentes anti-microbianos face a um certo microrganismo e determinar, qual o agente antimicrobiano mais eficaz para o combater, ou avaliar a actividade de um mesmo agente relativamente a diferentes microrganismos.

Conforme referido anteriormente, existe no mercado uma grande variedade de produtos antimicrobianos, pelo que é importante avaliar a sua eficiência e assegurar que o desempenho do

artigo têxtil não seja alterado pelo tratamento. Esta avaliação pode ser feita através de vários métodos.

O ágar é um polissacarídeo complexo e não é digerido pela grande maioria dos microrganismos, o que tornou universal a sua utilização em microbiologia para o crescimento de microrganismos em meio sólido.

Os métodos qualitativos baseados na difusão em ágar são muito utilizados como testes preliminares para detecção da actividade antimicrobiana. Este teste efectua a avaliação da actividade antimicrobiana por inibição do crescimento bacteriano, ou seja, é formada uma zona de inibição na zona circundante da amostra tratada com o composto antimicrobiano que é observada visualmente.

A ausência da zona de inibição indica a não protecção antimicrobiana da amostra tratada. Se for verificado ausência de crescimento microbiano, significa que a amostra contém actividade antimicrobiana.

A NP EN ISO 20645-2005 e o método AATCC Test Method 147-2004 permitem orientar a determinação da actividade antimicrobiana com base na difusão em agár.

- NP EN ISO 20645-2005: Tecidos. Determinação da actividade antibacteriana. Ensaio de difusão em placa de ágar.

A metodologia passa por colocar a amostra em estudo e uma amostra controlo em íntimo contacto com ágar inoculado com o microrganismo em estudo. Existindo actividade antibacteriana será visível uma zona de inibição do crescimento em torno da amostra. O tamanho desta zona de inibição será fortemente influenciado pela capacidade de difusão do agente antibacteriano. A zona de inibição pode ser medida, embora não deva ser considerado um valor quantitativo da actividade antibacteriana.

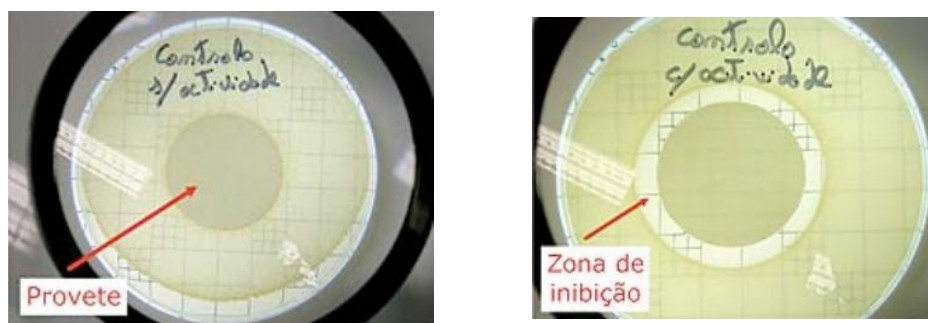
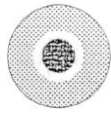
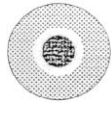
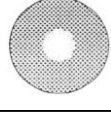
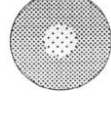
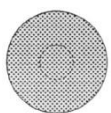
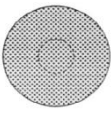


Fig. 19: Diferença entre um tecido sem tratamento e um tecido com actividade antibacteriana, segundo a NP EN ISO 20645:2005

Segundo a ISO 20645:2005, a actividade antimicrobiana pode ser avaliada de acordo com o quadro seguinte.

Quadro 10: Avaliação da actividade antimicrobiana (ISO 20645:2005)

Zona de inibição Valor médio (mm)	Crescimento sob a amostra	Descrição		Avaliação
>1	Negativo	Zona de inibição excede 1mm, sem crescimento		Boa eficiência
1 – 0	Negativo	Zona de inibição até 1mm, sem crescimento		
0	Negativo	Zona de inibição, sem crescimento		
0	Ligeiro	Não existe zona de inibição, somente algumas colónias restritas, o crescimento suprimiu quase totalmente		Eficiência Limitada
0	Moderado	Não existe zona de inibição, comparando com o controlo o crescimento reduziu-se para metade		Eficiência insuficiente
0	Elevado	Comparando com o controlo não existe zona de inibição, não existe redução do crescimento ou somente um crescimento ligeiramente reduzido.		

- AATCC Test Method 147-2004: Avaliação da actividade antibacteriana em têxteis, método das estrias paralelas.

Uma placa de ágar é inoculada com estrias de uma solução de inócuo dos microrganismos seleccionados. Os provetes do material a testar são colocados sob essas estrias. A actividade antibacteriana é comprovada caso se verifique o aparecimento de uma área onde o crescimento é interrompido (à volta do material a testar).

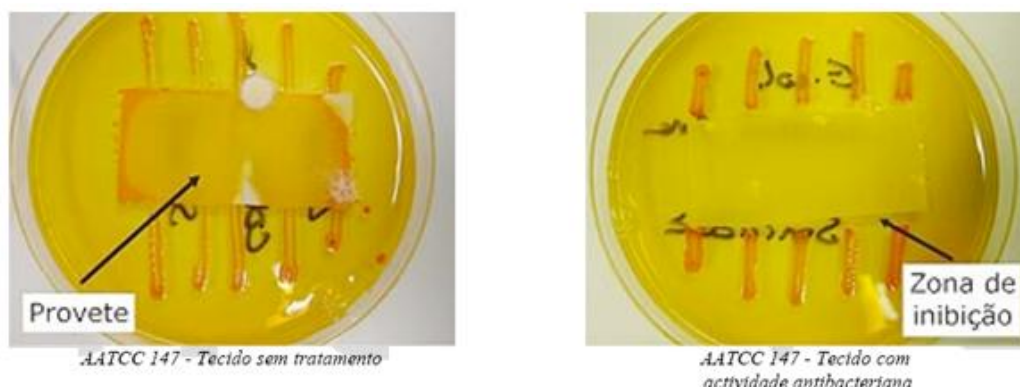


Fig. 20: Diferença entre um tecido sem tratamento e um tecido com actividade antibacteriana, segundo o AATCC Test Method 147-2004

Existem outro tipo de testes nomeadamente, testes baseados numa avaliação quantitativa, em que é avaliada a eficácia antimicrobiana pela redução da população microbiana, baseando-se na técnica de contagem dos microrganismos. Analisa-se os resultados pela diferença da contagem dos microrganismos das amostras tratadas com as não tratadas. São exemplo desta metodologia, a norma EN ISO 20743:2007 e o teste AATCC Test Method 100-2004.

- EN ISO 20743:2007: Têxteis - Determinação da actividade antibacteriana em produtos têxteis acabados. O provete do material a testar é inoculado com uma solução de inócuo dos microrganismos seleccionados, previamente colocados a incubar. Contando o número de colónias obtido no tempo inicial e após a incubação é calculado o valor da actividade antibacteriana.

- AATCC Test Method 100-2004: Acabamento antibacteriano em materiais têxteis.

As amostras teste são inoculadas com as bactérias seleccionadas. Após incubação, as bactérias são removidas, por “lavagem” com uma solução neutralizante, sendo determinado o número de bactérias presentes.

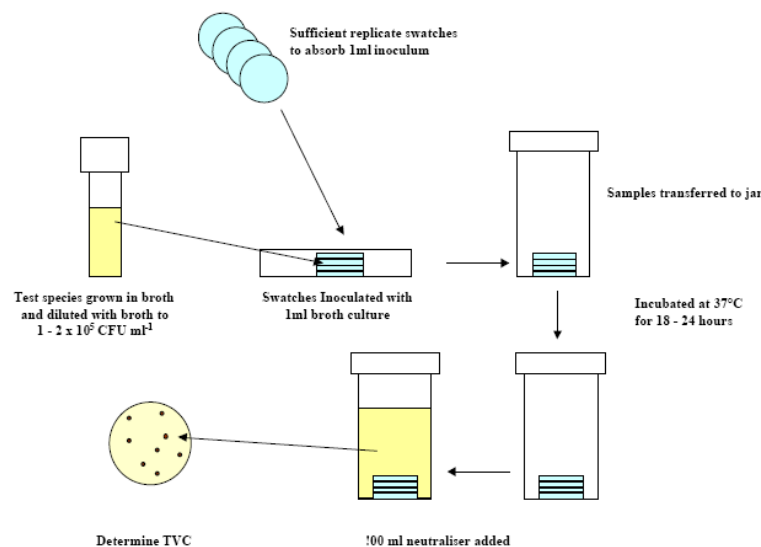


Fig. 21: Representação esquemática do método AATCC 100-2004

(Fonte: [http://www.oilis.oecd.org/olis/2007doc.nsf/LinkTo/NT00000B46/\\$FILE/JT03222464.PDF](http://www.oilis.oecd.org/olis/2007doc.nsf/LinkTo/NT00000B46/$FILE/JT03222464.PDF))

Outros produtores avaliam a eficácia antibacteriana por testes ASTM F1670 (“Standard Test Method for Resistance of Materials Used in Protective Clothing to Penetration of Synthetic Blood”) e F1671 (“Standard Test Method for Resistance of Materials Used in Protective Clothing to Penetration by Blood-borne Pathogens Using Phi-X174 Bacteriophage Penetration as a Test System”), contudo, estes testes avaliam as propriedades de barreira do material tratado contra os microrganismos em detrimento das suas bioatividades (Casciani *et al.*, 2003).

Foram também desenvolvidos outros sistemas de testes os quais têm em consideração os aspectos tecnológicos, dermatológicos e ecológicos, nomeadamente os testes segundo a norma ISO/TC/38/WG 23 - Testing for antibacterial activity, e segundo a norma CEN TC 248 WG 13- Textiles-Determination of the antibacterial activity-Agar plate diffusion test.

Relativamente à avaliação da actividade anti-fúngica, são utilizados os testes “soil burial”, os quais têm sido usados na demonstração da prevenção da degradação dos materiais têxteis causada por fungos. A este nível os testes são realizados segundo as normas:

- NP EN ISO 11721-1:2002: Têxteis. Determinação da resistência de têxteis contendo celulose aos micro-organismos. Ensaio de enterramento. Parte 1: Avaliação do acabamento retardador de putrefacção.

Especifica a metodologia para determinação da resistência de têxteis, com tratamento químico, à acção de microrganismos presentes na terra, em comparação com têxteis sem tratamento.

Aplica-se principalmente a têxteis fabricados com fios contendo celulose: lona, encerados, fitas, tendas, mochilas de campismo. Os provetes das amostras são enterrados em tabuleiros, em contacto directo com a terra e incubados. Após incubação é determinada a resistência à tracção de acordo com a norma NP EN ISO 13934-1:2001.

- NP EN ISO 11721-2:2005: Têxteis. Determinação da resistência de têxteis contendo celulose aos microrganismos. Ensaio de enterramento - Parte 2: Identificação da resistência a longo termo dum acabamento retardador de putrefacção.

Descreve um procedimento de ensaio para identificação da resistência a longo termo de um acabamento retardador de putrefacção contra o ataque de microrganismos na terra de ensaio.

- NP EN 14119:2005: Ensaio em têxteis. Avaliação da acção dos microfungos.

Especifica métodos para a determinação da resistência de têxteis à acção de microfungos. Os resultados dos ensaios são avaliados por exame visual e por medição das propriedades físicas dos têxteis.

- AATCC 30-2004: Avaliação da actividade anti-fúngica

Avaliação em materiais têxteis: Este método tem dois objectivos, nomeadamente determinar a susceptibilidade dos materiais têxteis ao bolor e putrefacção e posteriormente, avaliar a eficácia do acabamento anti-fúngico.

No que diz respeito à actividade anti-ácaros pode é utilizada a norma NF G 39-011-2001: Têxteis e materiais poliméricos. Esta norma baseia-se na caracterização e avaliação da actividade anti-acariana. Os produtos tratados são postos em contacto com os ácaros em condições específicas e, após o tempo de contacto especificado, é efectuada a contagem dos mesmos.

Além dos testes já referenciados, existe uma panóplia de outros testes igualmente usados para determinar a actividade microbiana, nomeadamente:

Quadro 11: Exemplos de testes para determinação da actividade microbiana

Designação do teste	Descrição
AATCC 174-2007: Avaliação da actividade antimicrobiana em tapetes	Este método considera uma avaliação a três níveis: avaliação qualitativa antibacteriana, avaliação quantitativa antibacteriana e avaliação quantitativa anti-fúngica.
SN 195920-1992 - Textile fabrics: Determination of the antibacterial activity: Agar diffusion plate test	Neste teste quantitativo são colocadas quatro amostras têxteis idênticas ($25 \pm 5\text{mm}$) em íntimo contacto com ágar inoculado com meio nutritivo sólido numa placa de petri. As amostras são cobertas com o meio nutriente sólido que foi inoculado com as bactérias seleccionadas (<i>Staph aureus</i> ou <i>E coli</i>). Após 18 a 24h de incubação, os resultados são avaliados de acordo com o descrito na norma NP EN ISO 20645-2005
SN 195921-1992 - Textile fabrics: Determination of the antimycotic activity: Agar diffusion plate test	São colocadas quatro amostras têxteis esterilizadas idênticas ($25 \pm 5\text{mm}$) em íntimo contacto com ágar inoculado com meio nutritivo sólido numa placa de petri. Cada placa é constituída por duas camadas, sendo que a primeira é constituída por 10 ml de ágar nutriente, e a segunda por outros 10ml de agar nutriente com 0,1ml de suspensão de esporos (107 ml-1) de <i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillusniger</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> or <i>Trichophyton mentagrophytes</i> . As placas são inoculadas a 28°C durante 2 dias (<i>C albicans</i>) ou 7 dias (<i>A niger</i> , <i>C sphaerospermum</i> and <i>T mentagrophytes</i>). O teste é considerado válido quando é observável um crescimento sobre a totalidade de uma amostra controlo sem substância bioactiva ou de uma amostra de algodão sem aditivos. Considera-se uma boa eficiência antimicótica quando não se verifica nenhum crescimento fúngico.
JIS L 1902-8-1998 - Testing Method for antibacterial of textiles Qualitative test	Três amostras de malha, fio ou fibra são colocadas em contacto íntimo com a superfície de uma placa de agar que foi inoculada com uma suspensão de células de <i>S. aureus</i> ou <i>K pneumoniae</i> e incubadas a 37°C durante 24 a 48h. A existência de uma zona de inibição com qualquer tamanho é então registada.
JIS L 1902-8-1998 - Testing Method for antibacterial of textiles Quantitative test	Seis amostras têxteis de controlo e três com tratamento são inoculadas com uma única espécie bacteriana (<i>S. aureus</i> e <i>K pneumoniae</i>) suspensa numa solução diluída de caldo nutriente. As amostras são incubadas sob forte humidade a 37°C a um determinado tempo de contacto. A actividade é calculada comparando a população inicial com a presente na amostra após a incubação.
SN 195924-1983 - Textile Fabrics: Determination of the antibacterial activity: Germ count method	São inoculadas 15 amostras idênticas ($25 \pm 5\text{mm}$ com capacidade para absorver 1 ml de inoculo de teste) com <i>E coli</i> or <i>S. aureus</i> suspensas em caldo nutriente e incubadas em frascos selados a 27°C durante 24H. Após 0, 6 e 24h é analisado em 5 amostras o número viável de células. Utiliza-se um neutralizante de crescimento. O teste é válido quando se observa nas amostras de controlo um aumento da população de 2 ordens de grandeza. Este método define se o têxtil é antimicrobiano se não houver crescimento acima do mínimo observado após 24h em 4 dos 5 grupos de amostras.
XP G 39-010-2000 - Propriétés des étoffes - Étoffes et surfaces polymériques à propriétés antibactériennes - Caractérisation et mesure de l'activité antibactérienne	Quatro amostras têxteis a analisar são colocadas numa placa de petri com agar inoculado com um volume específico de uma suspensão de células de <i>S. aureus</i> e <i>K pneumoniae</i> usando um peso de 200g durante 1 mn. As amostras são depois removidas. É contado o número de células em boas condições em ambas as amostras em duplicado, antes e após a incubação sob condições húmidas a 37°C durante 24h. É utilizado um neutralizador durante a recuperação das células.
ASTM E2149-01 - Método para determinar a actividade antimicrobiana de agentes antimicrobianos imobilizados sobre condições de contacto dinâmico	Este é um método quantitativo que permite avaliar a redução do crescimento de bactérias, após um contacto dinâmico da amostra com o inoculo por um período de tempo especificado. A amostra é suspensa numa solução tampão contendo um certo número de bactérias <i>Klebsiella Pneumoniae</i> e é agitada. A eficiência é determinada comparando o tamanho da população antes e depois de um determinado espaço de tempo.

A proliferação de micróbios nos têxteis também pode ser analisada através da quantificação do DNA, sendo a sua detecção efectuada por fluorescência com o corante PicoGreen. Este método fornece um procedimento rápido e sensível para comparar a quantidade de microrganismos presente em diferentes materiais após utilização “in vivo” (ex: sportswear fabricados com matérias hidrofóbicas e hidrofílicas). (Teufel L., et al, 2006)

A interacção entre os têxteis e os micróbios também pode ser observada por microscopia fluorescente.

3.3 Conceitos de Nanotecnologia

Nos anos 80, a tecnologia da informação tomou para si o papel de indutora do desenvolvimento económico ao permitir o progressivo aumento da produtividade nas organizações. Nos anos 90, a biotecnologia permitiu a entrada das aplicações tecnológicas na manipulação da vida e dos seus sistemas. Esta evolução gerou desde então um sector económico que responde actualmente por um volume de negócios na ordem de 30 bilhões de dólares, além do impacto social gerado, ao permitir o prolongamento da vida e um maior bem-estar para o cidadão (Malerba e Orsenigo, 2002).

Já no século XXI, a nanotecnologia promete aplicações que culminarão em altas taxas de inovações e a revolução na forma como encaramos a vida (Roco, 2004; Lux Research, 2008).

Nano é uma designação de comprimento, de tamanho. Uma coisa “nano” mede um bilionésimo de metro ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m} = 0,000000001\text{ m}$). Um bilionésimo de metro chama-se “nanómetro”, da mesma forma que um milésimo de metro chama-se “milímetro”.

Na figura seguinte pode observar-se que um fio de cabelo humano possui milhares de nanómetros, enquanto um átomo possui dois décimos de nanómetros, demonstrando assim a revolução de escala de manipulação que a tecnologia proporcionará:

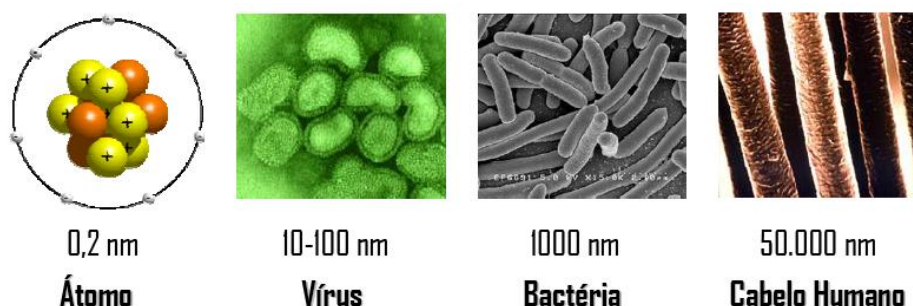


Fig. 22 - Comparação de Escala em Nanómetros (Fonte: <http://hdl.handle.net/10183/15019>)

"Nano" é um prefixo que vem do grego antigo e significa "anão". O prefixo "nano" indica uma pequenez de tal forma que, uma estrutura nanodimensionada tem de ser ampliada mais de 10 milhões de vezes para que se possa facilmente apreciar em pormenor a olho nu.

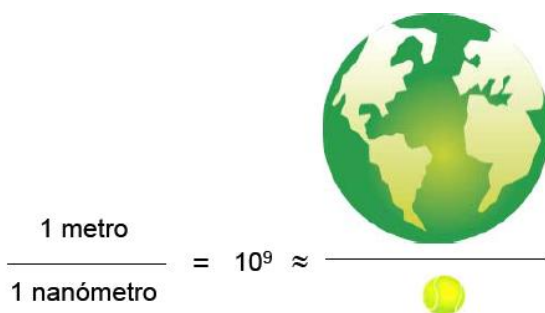


Fig. 23: Representação figurativa da escala nano (Fonte: http://europa.eu.int/comm/research/leaflets/nanotechnology/index_pt.html)

A nanotecnologia foi desenvolvida para criar e manipular partículas menores que átomos e moléculas.

Surgiu a 29 de Dezembro de 1959, no CalTech (California Institute of Technology), Califórnia, quando o físico Richard Feynman proferiu, na Reunião Anual da American Physical Society, a palestra "There's plenty of room at the bottom" ("Há mais espaços lá em baixo").

Feynman anunciava ser possível condensar, na cabeça de um alfinete, as páginas dos 24 volumes da Enciclopédia Britânica para, desse modo, afirmar que muitas descobertas se fariam com a produção de materiais em escala atómica e molecular.

Quando o termo nanotecnologia foi usado pela primeira vez, foi para referir a precisão e miniaturização crescente com que os objectos podiam ser produzidos. Contudo, o conceito de nanotecnologia foi adoptado pelo Prof. Norio Taniguchi em 1974 quando se apercebeu e definiu as dimensões críticas e as suas tolerâncias deste novo ramo da ciência. Fica na história a sua declaração “...A *nanotecnologia* consiste no *processamento, separação, consolidação e* deformação de materiais ao nível atómico ou molecular...” (Steinmetz M., 2006)

No entanto, só nos anos 80 é que a “visão” de Feynman começou a encontrar condições para se desenvolver, nomeadamente apoio económico para investimento científico e tecnológico.

Posteriormente, em 1981, K. Eric Drexler lançou o projecto da manipulação molecular, publicado em 1986 no seu livro “Engines of Creation”, no qual introduziu o termo "nanotecnologia" para expressar a nova tecnologia em que máquinas de tamanho nanométrico manipulariam os átomos, trazendo assim outra projecção a este ramo do conhecimento. (Steinmetz M., 2006)

A nanotecnologia não é uma tecnologia específica, mas todo um conjunto de técnicas baseadas na física, na química, na biologia, na engenharia de materiais e na computação, que visam estender a capacidade humana de manipular a matéria até aos limites do átomo. (*Silva, C.G., 2002*). Trata-se de uma ciência multidisciplinar, onde há de facto necessidade de partilhar o conhecimento sobre ferramentas e técnicas, assim como sobre conhecimentos periciais em matéria de interações atómicas e moleculares.

Trata-se de uma tecnologia em que a matéria é manipulada à escala atómica e molecular para criar novos materiais e processos com características funcionais diferentes dos materiais comuns.

Os produtos nano foram inicialmente desenvolvidos para aumentar a capacidade de armazenamento dos computadores e reduzir o seu tamanho, aumentar a eficácia de remédios, criar materiais mais leves e mais resistentes, entre outras aplicações.

A indústria têxtil não ficou alheia aos benefícios traduzidos pela nanotecnologia, pelo que os nanotêxteis fazem hoje parte de um dos quatro grandes campos de aplicação desta nanociência:

- Nanoelectrónica;
- Nanomateriais;
- Nanobiotecnologia;
- Nanotêxteis;

Do ponto de vista técnico-económico, a nanotecnologia tem um grande potencial para as empresas e para a sociedade, sendo que esta nova fronteira científica transformará e reinventará a vida como agora a conhecemos.

A nanotecnologia foi já reconhecida como de importância estratégica pela maior parte dos países industrializados, sendo uma das áreas que obtêm uma fatia elevada de financiamento governamental à investigação .

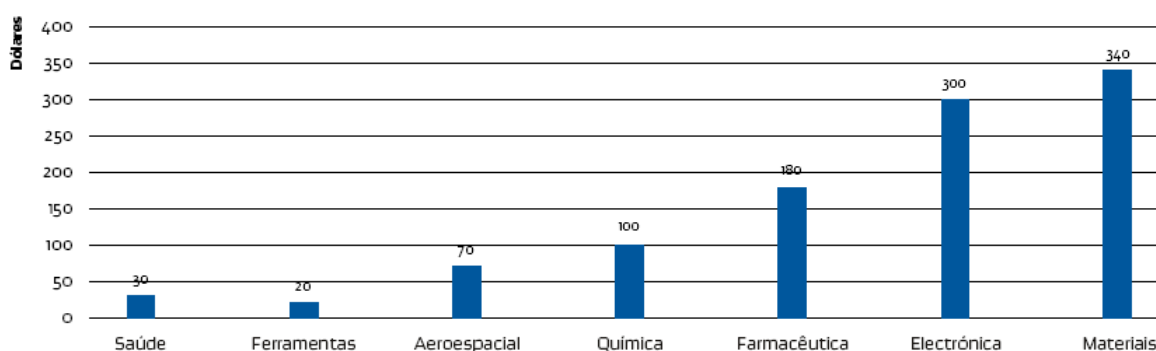
Em 2005 os EUA investiram mais de mil milhões de dólares (3.5 dólares per capita), o Japão 950 milhões de dólares (7.4 dólares per capita), a Alemanha 260 milhões de dólares (3.2 dólares per capita), enquanto que Portugal investiu apenas 0.5 milhões de dólares (0.05 dólares per capita). (*Ferreira P.J. et al, 2005*)

Em termos infra-estruturais, a Alemanha criou 6 centros de nanotecnologia que ligam empresas e universidades em 6 áreas distintas. Um dos centros engloba 20 empresas, 10 universidades e 15 centros de investigação concentrados no estudo da nanoelectrónica. Um outro centro é

responsável pelo desenvolvimento de redes para transferência de conhecimento em nanotecnologia e para divulgação de informação em formação e educação. (Ferreira P.J. et al, 2005)

Também com o objectivo de desempenhar um papel fulcral entre as nações líderes na investigação em nanotecnologia, Portugal e Espanha, em 2005 ponderaram sobre a criação de uma instituição dedicada à nanotecnologia, ideia que foi aprofundada durante 2006, de onde resultou o Laboratório Internacional Ibérico de Nanotecnologia, que foi inaugurado em Julho de 2009. Trata-se do primeiro laboratório no mundo dedicado à nanotecnologia com um estatuto legal internacional e tendo estados como membros, permitindo assim disponibilizar todas as condições para que investigadores possam desenvolver investigação de topo em nanotecnologia. (http://www.portugal.gov.pt/pt/GC17/Governo/Ministerios/MCTES/Notas/Pages/20090717_MCTES_Com_Nanotecnologia.aspx)

Em termos de impacto económico e de modo a permitir obter uma visão sobre o impacto da Nanotecnologia, está previsto que no ano de 2015 se atinjam rendimentos na casa de 1 trilião de dólares (fonte: *National Science Foundation*) divididos de acordo com o seguinte gráfico:



Graficoxxxx: Impacto da nanotecnologia por área (fonte: *National Science Foundation*)

Em termos de recursos humanos, prevê-se que a nanotecnologia gere até 2015 cerca de 10 milhões de postos de trabalho. (Ferreira P.J. et al, 2005)

De modo a poder-se ter uma noção das vantagens da nanotecnologia, na figura seguinte sintetizam-se os benefícios da nanotecnologia em relação às aplicações correlacionadas, mas também uma expectativa do progresso que se espera alcançar com as descobertas. Também mostra as origens das aplicações tecnológicas em termos dimensionais até se ter atingido a escala nanométrica.

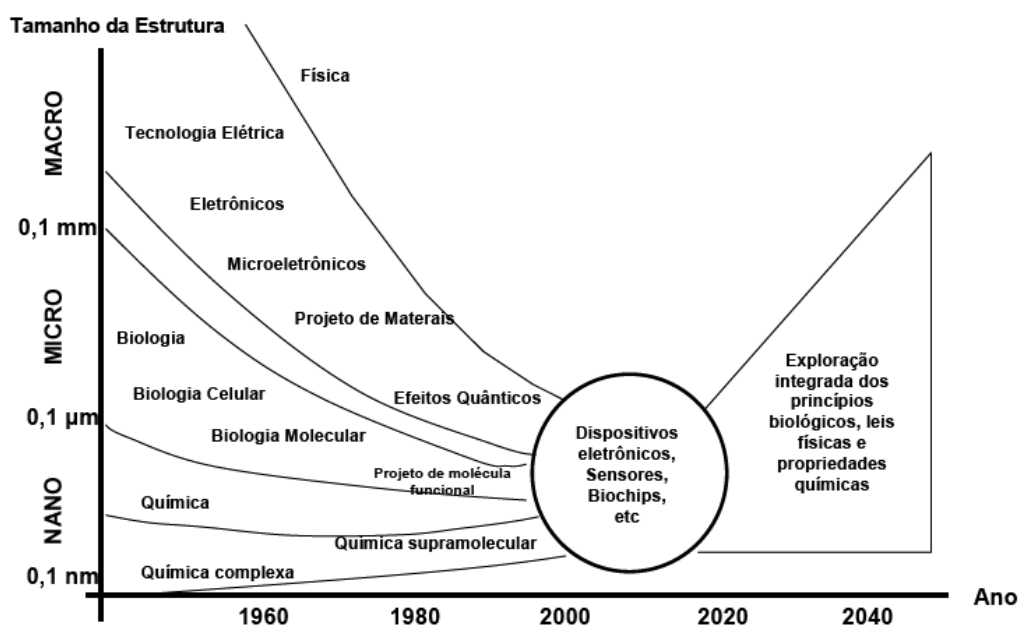


Fig. 24 – Convergências tecnológicas na nanoescala (Fonte: Salerno et. al., 2008)

Deste esquema conclui-se que a nanotecnologia apresenta um grande potencial de conversão de outras tecnologias, criando um novo paradigma tecnológico.

O conjunto de benefícios resultantes da nanotecnologia são geradores de impactos extremamente positivos que alimentam a continuidade da procura por novas descobertas científicas e pelo aprimoramento das aplicações tecnológicas em produtos comerciais.

3.3.1 Nanotêxteis

Nos têxteis a nanotecnologia tem tido também uma aplicação crescente, graças às potencialidades que permite na introdução de novas características nas fibras, fios e tecidos.

A engenharia molecular permitiu de facto que novas substâncias químicas de dimensões nano, pudessem ser aplicadas em massas de extrusão (fibras artificiais e sintéticas), fios ou ainda em superfícies têxteis. As suas formas físicas variam de sólidos até soluções aquosas, pseudo-emulsões e dispersões. (Engo, 2005)

Dependendo da aplicação que lhe é dada, obtêm-se efeitos notáveis sobre os materiais têxteis, gerando propriedades específicas, sendo este um processo que é designado por funcionalização. Um veículo transportador das substâncias nano entre o material têxtil e a pele podem ser cápsulas que libertam os seus ingredientes activos por efeito da temperatura, abrasão ou impacto mecânico.

Um exemplo são as cápsulas que funcionam como doseadoras de remédios. Em vez de hidratante, elas carregam insulina, para o tratamento da diabetes.

Estes sistemas nano-encapsulados libertam os princípios activos de uma forma controlada dependendo do tipo de aplicação e do efeito desejado.

Numa nanoemulsão o tamanho das partículas é inferior a 10 nm, enquanto que numa microemulsão o tamanho das partículas está compreendida entre 50 e 150 nm e numa macroemulsão o tamanho das partículas é superior a 150 nm.

A nanotecnologia foi inicialmente adaptada ao processamento têxtil em 1998 pelo Prof. David Soane.

Está centrada em duas grandes áreas:

- Melhoria de funções pré-existente e do comportamento dos materiais têxteis;
- Desenvolvimento de materiais têxteis inteligentes com características e funções completamente novas.

Esta tecnologia serve pois para a produção de nanofibras, vestuário mimético e com mudança de cor, vestuário anti-nódos, vestuário anti-vincos, fabricação de filtros de alta performance, entre outras aplicações.

O desenvolvimento de fibras ultra-finas, acabamentos funcionais e de têxteis com características especiais e com propriedades medicinais e curativas são tecnologias que estão a ganhar terreno no mercado mundial dos têxteis de alto valor.

A primeira aplicação comercial de nanotecnologia na indústria têxtil e do vestuário foi sobre a forma de nanopartículas, aplicadas durante o processo de enobrecimento dos materiais têxteis. O impacto desta nova tecnologia originou acabamentos inovadores, bem como novos processos e técnicas de aplicação.

Particular atenção tem vindo a ser prestada desde então a este tipo de acabamentos no sentido de os tornar mais controláveis e uniformes e, em que idealmente, e de uma forma individual as moléculas ou nanopartículas são “conduzidas” a ocupar uma determinada posição nos materiais têxteis, segundo uma orientação e trajectória específica, através de processos electrostáticos, termodinâmicos ou outros.

A aplicação de partículas ultra-finas no acabamento têxtil, produzidas com recurso à nanotecnologia constitui um processo em grande expansão. Estas aplicações visam conferir propriedades multifuncionais aos materiais têxteis, fazendo-se de seguida referência a algumas aplicações.

3.3.1.1 OBTENÇÃO DE FUNCIONALIDADES COM INSPIRAÇÃO NA NATUREZA

Alguns cientistas, ao analisar um pequeno lagarto chamado geco e verificarem a sua capacidade de adesão às superfícies em apenas um dedo, descobriram que tal facto se devia à existência de pêlos microscópicos elásticos que o lagarto possuía nos dedos e patas. Esta situação inspirou o desenvolvimento de pêlos sintéticos a partir de nanotubos de carbono, os quais possuem uma força de adesão 200 vezes superiores às do lagarto geco.

Os nanotubos de carbono são sequências tridimensionais ordenadas de átomos de carbono e que possuem uma resistência até 100 vezes maior que a do aço. Possuem um diâmetro compreendido entre 50 e 200 nm, uma forma cilíndrica, podendo apresentar parede simples ou paredes múltiplas. (Smalley, R., 1997)

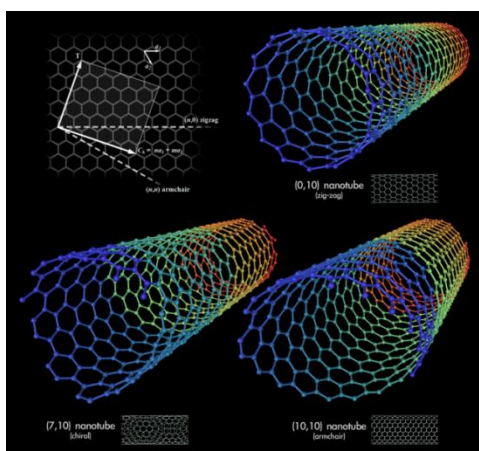


Fig. 25: Nanotubos de carbono (Fonte: Wikipedia/GPL)

Consoante sejam de parede única ou múltipla, assim se têm diferentes propriedades nos nanotubos de carbono.

As suas principais aplicações são a filtração, vestuário de protecção, nanocompósitos biodegradáveis, nanotecnologia, nanoagrotêxteis e bionanosensores.

Também a observação da superfície da amora e da flor de Lotus permitiu o desenvolvimento de tecidos “hidrofóbicos”.

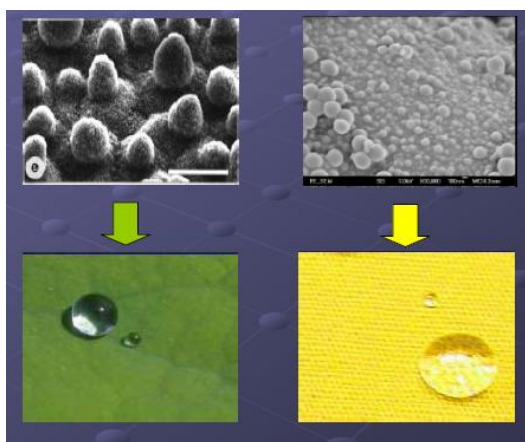


Fig. 26: Efeito Lotus (Fonte: SENAI/CETIQT - “A Nanotecnologia como Factor Estratégico de Inovação Competitiva no sector Têxtil”)

Uma superfície hidrofóbica pode ser conseguida através de um dos seguintes processos:

- Criação de uma superfície rugosa sobre uma superfície hidrofóbica;
- Modificação de uma superfície rugosa através de materiais com baixa energia superficial.

Ambas as abordagens têm vindo a ser utilizadas para conferir um carácter hidrofóbico aos substratos têxteis.

Os fluorcarbonetos constituem uma importante classe de produtos para acabamentos hidrófobos. Este tipo de acabamentos foi inicialmente aplicado no têxtil em 1965 para conferir repelência à água e ao óleo.

EFEITO SELF-CLEANING: Tecidos auto-limpantes - para limpar não é necessário detergente. Pelo facto de ser um acabamento à base de produtos “nano”, as propriedades de toque, respirabilidade e conforto do substrato têxtil, não são comprometidas.



Fig. 27: Efeito auto-limpante (Fonte: SENAI/CETIQT - “A Nanotecnologia como Factor Estratégico de Inovação Competitiva no sector Têxtil”)

A propriedade ou efeito de auto-limpeza (“self-cleaning”) existente nas folhas rugosas das plantas foi investigado em cerca de 340 espécies. A maioria das folhas “absorventes” investigadas era relativamente suave, sem relevo superficial proeminente (ângulo de contacto inferior a 110°). Pelo contrário, as folhas que exibiam um comportamento repelente à água apresentavam relevos superficiais, geralmente cristais de cera da epicutícula em combinação com células epidérmicas papilosas. O seu ângulo de contacto era superior a 160° . Foi também observado que nestes casos a água se concentrava na superfície sobre a forma de uma gota esférica, e eram eliminadas rapidamente para pequenos ângulos de inclinação (inferior a 5°) sem deixar resíduos. Partículas de todo o tipo que aderiam à folha eram completamente removidas quando submetidas a chuva artificial/natural.

As sujidades depositadas na superfície “encerada” das folhas são, geralmente, maiores que a microestrutura superficial da folha e, conseqüentemente, são depositados nas pontas das folhas logo, a área de interface entre ambos é minimizada. No caso da gota de água que rola sobre as partículas de sujidade, a área superficial exposta ao ar da gota é reduzida e ganha energia de absorção. Derivado à aderência entre a gota de água e as partículas de sujidade, estas são capturadas e removidas da superfície da folha. Este efeito ficou conhecido pelo efeito de Lótus.

A empresa Suíça Nano-Tex desenvolveu um produto que designou por “Nano-sphere” para conseguir produzir artigos repelentes à água. A impregnação com “nano-sphere” desenvolve-se sobre a forma de sol-gel e garante a repelência aos líquidos, prevenindo simultaneamente a deposição e fixação de partículas de sujidade no material têxtil.

REDUÇÃO DE ATRITOS (ESCAMA DE TUBARÃO)

A pele de tubarão é coberta por escamas e em determinada área do seu corpo elas adquirem a forma de V. Esta forma proporciona uma redução do atrito e resistência da água reduzindo a turbulência ao redor do seu corpo. A redução do atrito permite que o tubarão tenha uma fluidez maior ao nadar, movendo-se eficazmente pela água, com uma resistência mínima e utilizando menor quantidade de energia. (Meira, G. L., 2008)

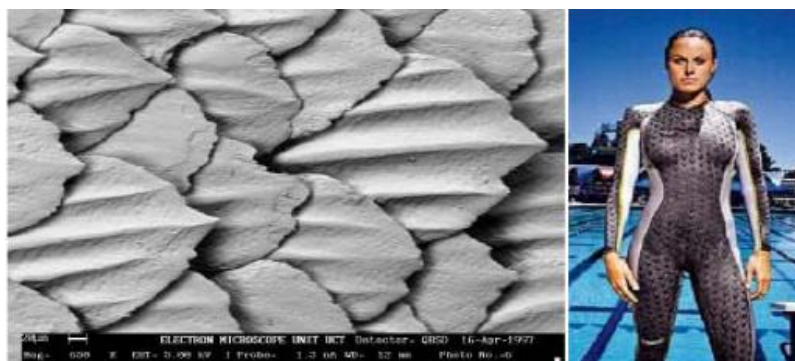


Fig. 28: Efeito escama de tubarão (Fonte: SENAI/CETIQT - “A Nanotecnologia como Factor Estratégico de Inovação Competitiva no sector Têxtil”)

3.3.1.2 NANOACABAMENTOS ANTI-PÓLEN

A empresa japonesa Miyuki Keori Inc comercializa tecidos e vestuário com propriedades anti-pólen em que nanopartículas com uma dimensão inferior a 30 nm estão ligadas à superfície dos materiais têxteis.

A suavidade do acabamento superficial aliado ao seu efeito anti-estático impede que o pólen ou o pó adira e se fixe no têxtil. Este efeito é conseguido pela utilização de um polímero que possui propriedades anti-estáticas e uma composição electrocondutora.

3.3.1.3 NANOACABAMENTOS ANTI-UV

Estudos demonstraram que nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de zinco (ZnO) eram mais eficientes na absorção e dispersão de raios ultravioleta comparativamente às formulações com dimensões tradicionais.

Este facto deve-se ao tamanho das nanopartículas que apresentam uma superfície maior por unidade de massa e de volume que os materiais convencionais, induzindo deste modo uma maior efectividade no bloqueio das radiações U.V.

Para as pequenas partículas a dispersão é o fenómeno mais prevalente até 1/10 do comprimento de onda da luz dispersa.

3.3.1.4 NANOACABAMENTOS ANTI-MANCHAS (Resists spills)

As tintas e os tingimentos contêm elevadas concentrações de corantes de secagem rápida que podem manchar indelevelmente o vestuário. Os materiais têxteis tratados com o acabamento

Nano-Tex Resists spills não estão isentos deste infortúnio, contudo, se levantados imediatamente as nódoas podem ser eliminadas ou pelo menos minimizadas.

Este tipo de nanoacabamento assegura uma protecção a líquidos aquosos e a líquidos de base oleosa fornecendo uma repelência superior que ajuda a minimizar a fixação das nódoas por eles provocadas. Se por exemplo manchas de lama atingirem a superfície de artigos têxteis tratados com este acabamento, é possível remove-las cuidadosamente sacudindo a lama e evitando deste modo a absorção e fixação de nódoas no material têxtil.

3.3.1.5 NANOACABAMENTOS FOTOCATALÍTICOS

Quando um material semi-condutor é iluminado com uma luz de energia superior converte-se num poderoso catalisador redox, capaz de matar bactérias, purificar a água, ou inclusivamente, promover a dissociação de moléculas de água nos seus componentes elementares.

O dióxido de titânio é um fotocatalisador que através de uma reacção fotocatalítica consegue decompor a matéria orgânica comum existente no ar tal como: moléculas odoríferas, bactérias e vírus. Estudos desenvolvidos demonstraram que artigos têxteis tratados com nanopartículas de dióxido de titânio, conseguem fornecer uma protecção activa contra bactérias, bem como, descoloração de nódoas derivado da acção fotocatalítica das nanopartículas de TiO_2 . (<http://www.citeve.pt/bin-cache/XPQC1DD5C57846DF7273C88ZKU.pdf>)

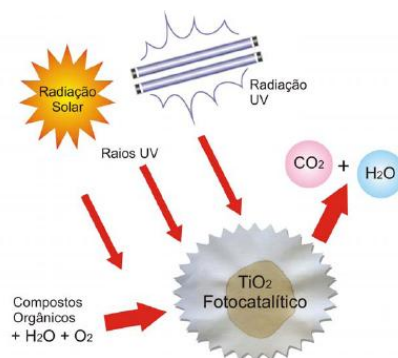


Fig. 29: Princípio do efeito fotocatalítico promovido pelas partículas de dióxido de titânio (Fonte: Citeve)

Durante as duas últimas décadas, foram desenvolvidos processos tecnológicos avançados, combinando poderosos agentes oxidantes (iniciadores catalíticos) com radiação ultra violeta ou quase ultra violeta, para proceder à remoção de agentes orgânicos poluentes e de xenobióticos dos efluentes têxteis. Entre eles o dióxido de titânio provou ser um excelente catalisador na fotodegradação de corantes e de outros poluentes orgânicos.

3.3.1.6 NANOACABAMENTOS ANTI-ODOR

A companhia Taiwanense nanotech firm greenfield criou uma fibra que designou por “underwear” que elimina os maus odores. Esta fibra incorpora nanopartículas que libertam iões negativos e radiação infravermelha indetectáveis à vista desarmada e que destroem os maus odores causados pelas bactérias.

Os iões negativos criam um campo magnético que inibem a reprodução das bactérias, o que não só elimina os maus odores, como também, baixa o nível de risco de irritação ou de infecção sobre a pele. A radiação infravermelha é absorvida pelas células da pele e também de todo o corpo e induz uma vibração de maior frequência ao nível atómico o que aumenta o metabolismo e a eliminação de desperdícios celulares.

Este acabamento permite eliminar 99,99% das bactérias, 90% dos odores e 75% de humidade pegajosa no vestuário contribuindo para a saúde e bem-estar do utilizador.

3.3.1.7 NANOACABAMENTOS ANTIMICROBIANOS

Membranas porosas com moléculas poliméricas matam as bactérias, de forma quase instantânea, sem causar danos na pele humana.

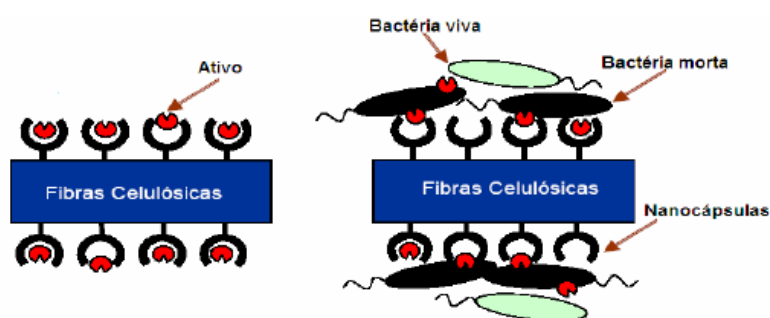


Fig. 30: Mecanismo de acção de um agente bactericida aplicado por impregnação no tecido (Fonte: SENAI/CETIQT - “A Nanotecnologia como Factor Estratégico de Inovação Competitiva no sector Têxtil”)

Nem as fibras naturais nem as fibras não naturais são resistentes às bactérias ou aos fungos patogénicos.

Assim, técnicas de acabamento de desinfecção antibacteriana têm sido desenvolvidas para vários tipos de materiais têxteis incluindo a aplicação de nanopartículas de prata e de dióxido de titânio e também de soluções coloidais de óxido de zinco (25 a 50 p.p.m.).

Os iões metálicos e os compostos metálicos demonstraram um excelente efeito de esterilização. Considera-se que parte do oxigénio existente na água e no ar é convertido em oxigénio activo através de uma reacção fotocatalítica com os iões metálicos e, desse modo, dissolvendo a substância orgânica desenvolvendo um efeito de esterilização.

Com a utilização de nanopartículas, o número de partículas por unidade de área aumenta e, consequentemente, o efeito antibacteriano é maximizado.

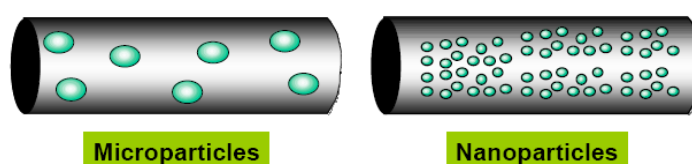


Fig. 31: Diferença de área de superfície entre as micropartículas e as nanopartículas (Fonte: International Congress of Nanotechnology, 2005)

As nanopartículas de prata possuem uma elevada área superficial pelo que a possibilidade de contacto com as bactérias e fungos é maior e deste modo potencia a efectividade do seu efeito bactericida e fungicida. As nanopartículas de prata são muito reactivas com as proteínas. Quando em contacto com bactérias e fungos irão afectar o seu metabolismo celular e inibir o seu crescimento.

Permitem igualmente suprimir a função respiratória, o metabolismo basal da transferência de electrões e o transporte de substratos para o interior da membrana celular microbiana. Desta forma inibe o crescimento e multiplicação das bactérias e fungos que causam infecções, maus odores, comichão e escaras.

É um facto bem conhecido que o crescimento de bactérias e de outros microrganismos, quer em alimentos, quer na água, é fortemente condicionado quando são acondicionados em recipientes de prata, dado as suas propriedades antibacterianas. Os iões de prata possuem um largo espectro de actividade antibacteriana.

O Prof. Yang patenteou um processo para a preparação de microcápsulas com nanopartículas de prata na sua constituição, microcápsulas essas que contêm no seu núcleo um agente que lhe confere outra acção adicional. Assim, para além da sua acção terapêutica antibacteriana característica da prata, pode-se ter um produto hidratante, uma fragrância, um preparado farmacêutico, um pigmento termosensitivo, materiais com mudança de fase, entre outros

Estas microcápsulas são preparadas num processo bietápico em que na primeira fase uma solução emulsionada, por exemplo de perfume, é encapsulada com um pré-condensado de melanina. Na segunda fase, esta microcápsula é tratada com uma dispersão de nanopartículas de prata, obtendo assim uma microcápsula de dupla função.

Nestas microcápsulas as nanopartículas de prata estão na superfície da cápsula, enquanto que o agente funcional se encontra no seu núcleo. Os materiais têxteis tratados com estas microcápsulas mostram uma efectiva actividade antibacteriana contra vários tipos de bactérias e fungos.

3.3.2 Nanoacabamentos da próxima geração

NANO-CARE

É uma tecnologia que procura desenvolver um vestuário de fácil manutenção, resistente aos vincos, ao encolhimento, repelente à água, à sujidade e às nódoas. Está orientado para ser aplicado em fibras celulósicas como o algodão e o linho. Este acabamento permanece activo mesmo após 50 lavagens domésticas.

NANO-PEL

Este acabamento visa conferir uma elevada repelência à água e aos óleos e é especialmente indicado para aplicar em artigos têxteis construídos à base de algodão, linho, lã e seda, bem como, poliéster, poliamida e poliacrílicas. É um acabamento durável com uma performance inultrapassável na repelência à água e óleos, particularmente em fibras naturais. O tratamento nono-pel aplicado ao algodão assegura uma permanência activa resistente a 50 lavagens domésticas.

NANO-DRY

É um acabamento que visa aumentar o carácter hidrofílico dos artigos têxteis, de grande duração (permanece activo após 50 lavagens domésticas), mantém a respirabilidade dos artigos, favorece uma secagem rápida (daí o nome) preserva o toque original e oferece boas perspectivas para dinamizar a comercialização de vestuário construído com fibras não naturais. Tem duração superior aos processos clássicos e não origina migração de corantes nas operações subsequentes de tingimento/acabamento. É particularmente apropriado para as fibras de poliamida e adequado para aplicações em vestuário íntimo e de desporto.

NANO-TOUCH

É um acabamento que visa minimizar as desvantagens das fibras não naturais tais como: serem hidrófobas, ganharem electricidade estática, terem um toque desagradável e tendência para ganharem brilho.

O processo S.A.N. (Self Assembled Nanolayer) é um desafio aos processos tradicionais de recobrimento e a sua investigação e desenvolvimento permanece ainda em estágio embrionário. Este processo procura fazer a deposição de uma camada superficial de espessura nanométrica na superfície do material têxtil. Camadas adicionais podem ser colocadas por cima formando uma estrutura multi-camada. Diferentes aproximações ao SAN estão a ser testadas visando conferir funções melhoradas aos artigos têxteis tratados.

Este nanoacabamento é um processo indicado para artigos com misturas de fibras, e caracteriza-se por durável, apresentar um toque semelhante ao do algodão, ser de fácil manutenção e reduzir fortemente a electricidade estática.

NANOACABAMENTOS CONDUTORES DE ELECTRICIDADE

Compostos reforçados por nanotubos poderão eventualmente ser a base de uma nova classe de fibras fortes e leves, com propriedades como condutividade eléctrica e térmica, características não disponíveis nas actuais fibras têxteis.

A nanotecnologia na área têxtil continuará a gerar oportunidades crescentes de desenvolvimento, sendo expectavel um contínuo crescimento na aposta a este nível:

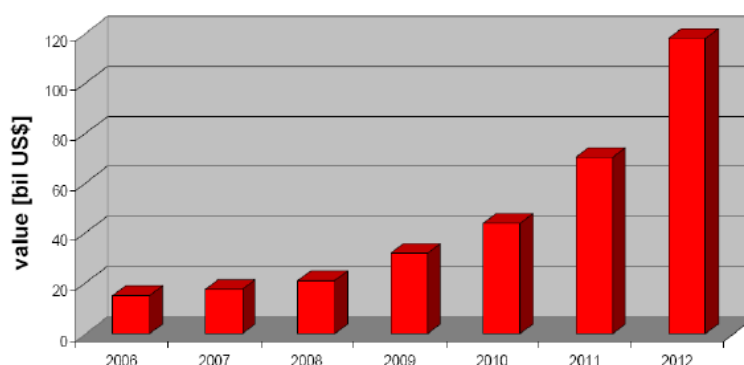


Fig. 32: Oportunidades crescentes para a nanotecnologia na área têxtil (Fonte: Nanotecnologia Têxtil na Rhodia – 1º Congresso Nanotac business (Thomas Canova / 12.11.07))

3.3.3 Vantagens dos nanoacabamentos nos substratos têxteis

- O substrato têxtil construído com base em fibras, fios ou tecidos com nanopartículas ou com nanoacabamentos é mais repelente à água;
- A sua nanocamada protectora é indetectável à vista desarmada;
- Quando uma substância é manipulada até uma dimensão de 100 nm, a estrutura torna-se mais compacta. Este facto aumenta a resistência às sujidades e nódoas;
- Permite reduzir custos e tempo nas operações de limpeza;
- Esta tecnologia é ecológica e ambientalmente mais segura e sustentável;
- Os nanomateriais permitem uma boa ventilação e reduzem a absorção de humidade, resultando numa respirabilidade melhorada enquanto mantém um bom toque como os materiais têxteis convencionais;
- Possuem uma boa resistência aos vincos e às rugas;
- Os produtos que incorporam nanopartículas não são tóxicos nem causam dano à saúde;
- O vestuário mantém-se brilhante e possui uma maior duração que o vestuário tradicional.

3.4 Tecnologia dos iões de prata

A prata é conhecida desde a antiguidade pelos egípcios que a utilizavam para evitar o apodrecimento dos alimentos e pelos fenícios que armazenavam a água em recipientes de prata, para a sua melhor conservação.

O uso da prata pelos seus benefícios médicos e terapêuticos remonta há milhares de anos, certamente à época romana, e é ainda hoje considerado como a melhor prática antimicrobiana.

Experiências realizadas pelo doutor Henry Crooks, em 1910, e por Alfred Searle, fundador da Searle Pharmaceuticals, em 1919, confirmaram a acção antimicrobiana da prata e a aplicação da prata coloidal em seres humanos, para uso interno, oral ou hipodérmico, apresentando a vantagem de ser rapidamente fatal aos parasitas, sem provocar qualquer efeito tóxico para as pessoas. (Salvatore de Salvo, 2002)

A eficácia da tecnologia dos iões de prata faz com que seja hoje largamente aplicada numa gama de fibras e tecidos com o objectivo de conferir protecção antimicrobiana. Esta tecnologia pode ser útil na minimização da presença de numerosos tipos de organismos microbianos. (W. Fluhr et al, 2005)

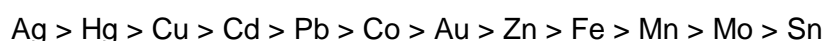
A prata é um agente antibacteriano que apresenta uma alta eficiência contra os micróbios e não é tóxica. Comparativamente a outros materiais antibacterianos, a eficiência da prata contra bactérias (Gram-positivas/negativas), fungos e vírus, é superior, possuindo provas dadas contra mais de 650 estirpes de bactérias e fungos. (*Dziworska et al, 2005*)

Em 1929, na Alemanha, o doutor G. Krausel conseguiu tornar prático o uso dos iões metálicos para acção bactericida, informando relatos sobre pesquisas realizadas na Washington University, nos Estados Unidos, em 1970, de que “nenhum organismo causador de doenças, seja micróbio, vírus ou fungo, poderá viver mais que alguns minutos em presença, mesmo que de traços, de prata metálica e que um antibiótico mata talvez um pouco mais do que meia dúzia de organismos patogénicos, enquanto a prata é capaz de matar 650, com a vantagem de não desenvolver linhagens resistentes, como ocorre com os antibióticos”. (*Salvatore de Salvo, 2002*)

Acredita-se que os iões de prata (Ag^+) interagem com grupos sulfúricos ou grupos tiol ($-\text{SH}$) nas membranas dos microrganismos, causando desregulação da sua permeabilidade e, com isso, a morte da célula microbiana (actividade bactericida). Os Ag^+ também podem interagir com o ácido desoxirribonucleico (DNA) impedindo a sua reprodução celular (actividade bacteriostática). (*Damm C et al, 2008*)

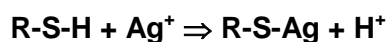
O efeito bactericida da prata foi quantificado pela primeira vez por Von Naegelis contra algas, na forma de iões de prata. O uso de partículas nanométricas em solução, com tamanhos variando de 10^{-9} m a 10^{-6} m (Key e Mass, 2001) é relatado em documentos científicos do fim do século 18, sendo seu uso intensificado entre 1910 e 1920 (*Gibbs, 1999*).

Além da prata, muitos outros metais foram estudados, resultando na seguinte escala de toxicidade contra microrganismos:



As fibras com prata, atacam a estrutura molecular das bactérias eliminando o hidrogénio do DNA provocando a sua morte. Os iões de prata conseguem eliminar 99% das bactérias em menos de uma hora. (*W. Fluhr et al, 2005 e Dziworska et al, 2005*)

Os iões de prata, em pequenas dosagens, actuam nas actividades celulares pela acção OLIGO-DINÂMICA (representada pela equação), destruindo a parede celular da bactéria, ligando-se ao DNA, destruindo o seu material genético.



O radical **S-Ag** influencia a multiplicação bacteriana, devido à sua acção constante e permanente.

O mecanismo de acção da prata pode ser visualizado na figura seguinte:

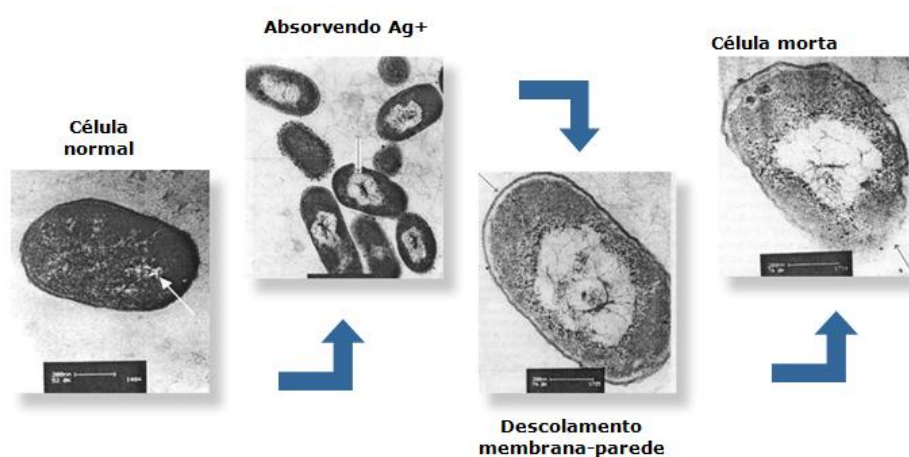


Fig. 33: Mecanismo de acção da prata (Fonte: Milliken Chemical)

A prata tem as seguintes vantagens:

- Tem amplo espectro de aplicação;
- Evita a formação de odor pela presença de fungos e bactérias;
- Evita a formação de mofo provocado por fungos;
- Reduz presença de alérgenos em artigos têxteis;
- Tem propriedade antibacteriana permanente;
- É resistente à lavagem;
- Tem processabilidade e características do produto acabado sem alteração.

Além da capacidade para neutralizar a actividade bacteriológica, a prata tem também a particularidade de acelerar o processo de cicatrização da pele.

Tem sido usada desde tempos remotos no tratamento de várias doenças incluindo a epilepsia, infecções venéreas, acne, úlceras de perna, dermatites, diabetes, pé de atleta, meningite, pneumonia, entre outras. Foi utilizada primariamente sob a forma de nitrato de prata e mais tarde, em 1960 como sulfadiazina de prata de grande utilidade no tratamento de queimaduras infectadas, sendo que o seu uso ainda se mantém na actualidade.

(http://www.forumenfermagem.org/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=2489)

As potencialidades da prata são pois extremamente positivas para pessoas diabéticas que, por possuírem dificuldades de cicatrização, estão mais sujeitas a processos infecciosos.

A eficácia da prata contra *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* entre outros microrganismos, associada ao baixo teor de resistências, suscitou o interesse da indústria farmacêutica para o fabrico de vários materiais de penso. Assim, existem hoje disponíveis vários materiais com capacidade de gestão do exsudado (fluidos como o pus), mantendo um ambiente húmido na interface ferida/penso e que simultaneamente combatem ou previnem a infecção. (http://www.forumenfermagem.org/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=2489)

Actualmente é reconhecida pela comunidade médica como um dos melhores agentes antimicrobianos, sendo habitualmente utilizada no cuidado de queimaduras e feridas para prevenir infecções.

Impregnações com sais de prata e de zinco têm sido usados em compressas de não tecidos, uma vez que apresentam largo espectro de actividade antibacteriana e inocuidade para o utilizador. A actividade não é rápida mas apresenta uma eficiência prolongada uma vez que o tempo de contacto na superfície húmida da ferida é normalmente longo.

Cada vez mais as bactérias se tornam resistentes aos antibióticos disponíveis no mercado, forçando assim a síntese constante de novas drogas, pelo que, a procura por novos medicamentos antimicrobianos, tem despertado um interesse crescente da comunidade científica pelos colóides de prata, pelo que, inúmeros trabalhos sobre nanocompósitos contendo prata têm sido publicados, sendo os estudos focados em bactérias como a *Escherichia coli*. e *Staphylococcus Aureus*, entre outras (Sanpui et al., 2008).

Nos Estados Unidos, a prata está a ser utilizada em revestimentos de paredes e outras superfícies de edificações industriais e hospitalares para evitar infecções. Neste país, tem também sido utilizada em cirurgias ósseas e em 70% dos centros de tratamento de queimaduras. Na Suíça, bioquímicos estudam a capacidade da prata para interromper a divisão celular do HIV em vários estágios. No Canadá, Suíça e Estados Unidos, os médicos também têm utilizado vários tipos de soluções de prata para tratar inúmeras infecções. (Salvatore de Salvo, 2002)

A Environmental Protection Agency, dos Estados Unidos, e o governo suíço, aprovaram filtros de água com prata coloidal para uso em residências e escritórios. Inúmeras companhias aéreas, como Air France, Alitalia, British Airways, Canadian Pacific, Japan Air Lines, Lufthansa e American Airlines, utilizam filtros de prata, para evitar doenças transmitidas pela água. A prata também tem

sido utilizada como substituto do cloro nas piscinas e há várias companhias japonesas a utilizá-la para remover cianetos e óxidos nítricos da atmosfera". A NASA também utiliza actualmente a prata na purificação de água, nos veículos espaciais. (Salvatore de Salvo, 2002)

3.5 Nanopartículas de prata

A prata apresenta reputação favorável em têxteis médicos, e portanto, formulações baseadas nesta tecnologia são bem aceites pelas entidades reguladoras. As tecnologias para obter fibras antibacterianas à base de ião prata, são actualmente produzidas usando nanopartículas e bombardeamento de iões (Williams et al., 2005).

As Nanopartículas de prata têm recebido considerável atenção devido às suas atractivas propriedades físico-químicas, como por exemplo, a sua acção bactericida (Bell et al, 2001). E, por ser um metal macio, é também utilizada como lubrificante sólido (Ouyang et al, 2005).

Como já referido, a prata possui uma acção antimicrobiana conhecida há muito tempo, porém na forma de nanopartículas tem uma superfície de contacto infinitamente maior e as suas propriedades são exponencialmente aumentadas.

De facto, um dos principais interesses destes materiais nano estruturados é o facto de terem uma área de superfície maior do que os materiais convencionais. Por esta razão, um pequeno número de nano partículas de prata podem perfeitamente dissipar-se para a superfície das fibras impregnadas de soluções coloidais, inibindo assim o crescimento de microrganismos. (Lee et al, 2003)

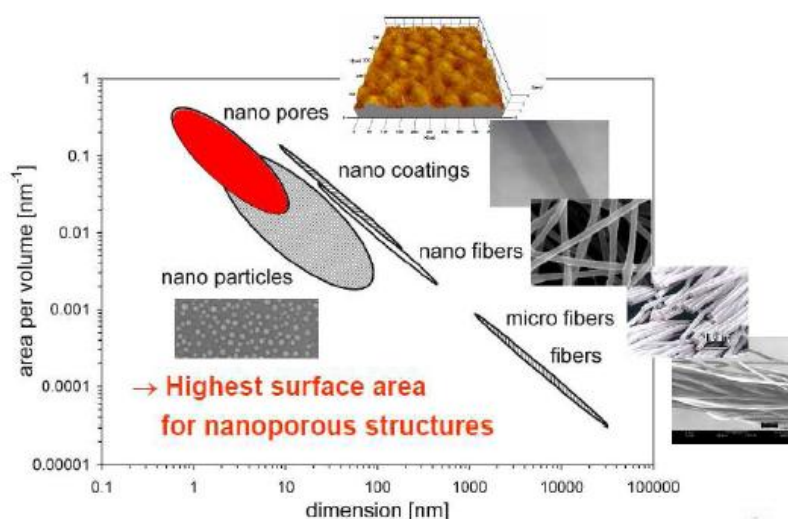


Fig. 34: Nanotecnologia e superfície específica: (Fonte: Nanotecnologia Têxtil na Rhodia – 1º Congresso Nanotac business (Thomas Canova / 12.11.07)

A reactividade das nanopartículas de prata está relacionada principalmente com o seu tamanho, demonstrando acção contra as bactérias *Gram* – negativas, aquelas com o tamanho por volta de 5 nm. Ocorre neste tipo de bactérias o fenómeno de troca da estrutura electrónica na superfície, deixando as mesmas mais reactivas. Outro factor importante é a estrutura cristalina que as nanopartículas apresentam. Estudos mostram que quanto maior o número de facetas nas partículas, por exemplo, com a estrutura cristalina de {111}, maior será a sua reactividade (*Morones et al., 2005*).

Nanopartículas de prata de 1 a 100 nm, em contacto com bactérias, podem ser encontradas tanto no interior das bactérias como nas suas membranas. Porém a interacção com aglomerados de prata não é observada. (*Morones et al., 2005*)

As nanopartículas de prata têm grande afinidade com grupos que possuem os elementos enxofre e fósforo, que são encontrados tanto nas membranas como no interior das bactérias. A sua interacção ocorre com a membrana celular, causando danos no processo de respiração celular e no interior das mesmas, interagindo com o DNA, impedindo a divisão celular (*Morones et al., 2005*).

A acção das nanopartículas de prata difere da acção dos seus iões, que se caracteriza pelo desenvolvimento de uma região de baixo peso molecular no centro da bactéria, a qual se acredita que seja formada por proteínas produzidas pela bactéria a fim de complexar os iões de prata (*Guggenbichler, et al., 1999*).

As nanopartículas de prata têm vindo a ser incorporadas em vários produtos poliméricos, têxteis, resinas, cerâmicas, entre outras, para conferir propriedades anti-bactericidas.

Uma aplicação simples e directa das nanopartículas de prata foi demonstrada num trabalho desenvolvido por *Lee et al. (2003)*, intitulado “Antibacterial effect of nanosized silver colloidal solution on textile fabrics”, no qual as nanopartículas de prata foram incorporadas em tecidos de celulose e sintéticos e utilizadas como bactericidas contra 2 tipos de bactérias (gram positivo e gram negativo). As nanopartículas apresentaram diâmetros variando entre 2 e 5 nm e foram impregnadas nos diferentes tecidos através da imersão dos mesmos numa solução de nanopartículas em água e etanol. As imagens de MEV obtidas mostraram que as nanopartículas apresentaram-se bem dispersas por toda a superfície do tecido.

A empresa Suzano Petroquímica, líder na América Latina na produção de resinas de polipropileno e segunda maior produtora de resinas termoplásticas no Brasil, apresentou durante a 11ª Feira Internacional da Indústria do Plástico, a Brasilplast 2007, realizada em São Paulo, dois produtos

elaborados com base nas potencialidades nanotecnológicas, designadamente, uma resina especial de polipropileno nanoestruturado com partículas de prata utilizada para fabricação de eletrodomésticos da linha branca, como máquinas de lavar roupa, e uma resina com nanopartículas para fabricação de fios e fibras para produção de colchões.

(<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3264&bd=1&pg=1&lg=>)

A resina nanoestruturada de polipropileno com partículas de prata é utilizada na fabricação da cuba das máquinas de lavar, sendo que, quando em lavagem, confere acção antimicrobiana à roupa.

Têm sido efectuados diversos estudos no sentido de dissipar partículas de prata à escala nano, nos tecidos têxteis para criar um efeito antibacteriano. (Lee, et al, 2003; Yuranova, et al, 2006)

H.J Lee et al, 2003 investigaram o efeito antibacteriano da solução coloidal de nanopartículas de prata contra a *Staphylococcus áureos* e a *Klebsiella pneumoniae*, ao introduzi-la nos tecidos têxteis de algodão. Verificaram que as nanopartículas de prata, cujo diâmetro variava de 2 a 5 nm, tinham um efeito antibacteriano em todas as amostras testadas contra as bactérias Gram-positivas e Gram-negativas.

A aplicação das nanopartículas de prata foi efectuada através do uso de uma solução coloidal de prata por impregnação, tendo-se obtido bons resultados, apresentando uma eficácia bacteriana com uma durabilidade à lavagem. Demonstrou-se que se consegue uma capacidade bactericida eficiente com uma carga de prata muito reduzida. (Lee, et al, 2003)

3.5.1 Obtenção de nanopartículas de prata

Existem diversos métodos para a obtenção das nanopartículas de prata.

Contudo, é necessário a prata estar numa forma solúvel, descarregada ou metálica para fornecer os efeitos biológicos (Dunn et al, 2004; Morrison et al, 2006).

Tanto o nitrato e a sulfadiazina de prata como a prata nanocristalina são aprovados pelo FDA (Administração de Drogas e Alimentos - *Food and Drug Administration*, órgão governamental dos Estados Unidos) como antimicrobianos usados no tratamento de feridas crónicas. Mas, preparações de prata iónica convencionais como o nitrato e a sulfadiazina de prata são rapidamente inactivadas em fluidos biológicos devido à formação do cloreto de prata ou outros compostos biologicamente inactivos. Como resultado, grandes quantidades dessas preparações

precisam de ser continuamente reaplicadas para fornecer a actividade antimicrobiana (*Morrison et al, 2006*).

É sabido que a prata nanocristalina é inactivada mais lentamente pelos fluidos biológicos do que a sua forma iónica, e, pode fornecer uma acção antimicrobiana prolongada em aplicações médicas (*Dunn et al, 2004; Morrison et al, 2006*).

Dispositivos contendo prata nanocristalina podem fornecer propriedades antimicrobianas e antiinflamatórias em equipamentos médicos implantáveis (*Morrison et al, 2006*).

Os processos de síntese de nanopartículas de prata podem ser divididos em duas classes distintas:

- Os métodos “top down” ou métodos de cima para baixo, onde estruturas maiores são diminuídas continuamente de tamanho, até chegar a dimensões nanométricas.

Este modelo é semelhante ao utilizado pela indústria de semi-condutores para a fabricação de microchips, onde técnicas como a litografia são utilizadas. Entretanto, muitas vezes o modelo top-down esbarra em limitações físicas para alcançar os seus objectivos e acaba por se tornar dispendioso.

- Métodos “bottom-up” utilizam-se de vários processos químicos, físicos e conjugados permitindo a produção de materiais nanoparticulados. A grande maioria destes métodos foram desenvolvidos ou modificados tendo como base a química coloidal, electroquímica (clássica e em sais fundidos) e reacções de síntese via combustão e variantes no estado sólido, líquido, gasoso ou assistidas com a utilização de plasma.

Entre estes métodos podem-se referir: sol-gel, CVD (Chemical Vapour Deposition), SHS (High Temperature Self Propagation Synthesis), combustão, decomposição térmica, pirólise via spray, PVD (Physical Vapour Deposition), métodos a laser, plasma ou arco voltaico, método reverso de microemulsão/micelas, síntese via húmida em baixas temperaturas, síntese química de precursores cerâmicos acoplados de polímeros com técnicas de processamento físico, atomização electrodinâmica, “eletrospinning”, entre muitos outros. (*Klabunde et al, 2005; Edirisinghe, M. J. et al, 2004, Jensen, David et al in*)

Nestes métodos, interacções químicas permitem que átomos e moléculas se reorganizem, dando forma à estrutura desejada. Em geral, o modelo bottom-up, aparenta ser mais eficiente e mais barato.

RANDMR615-2

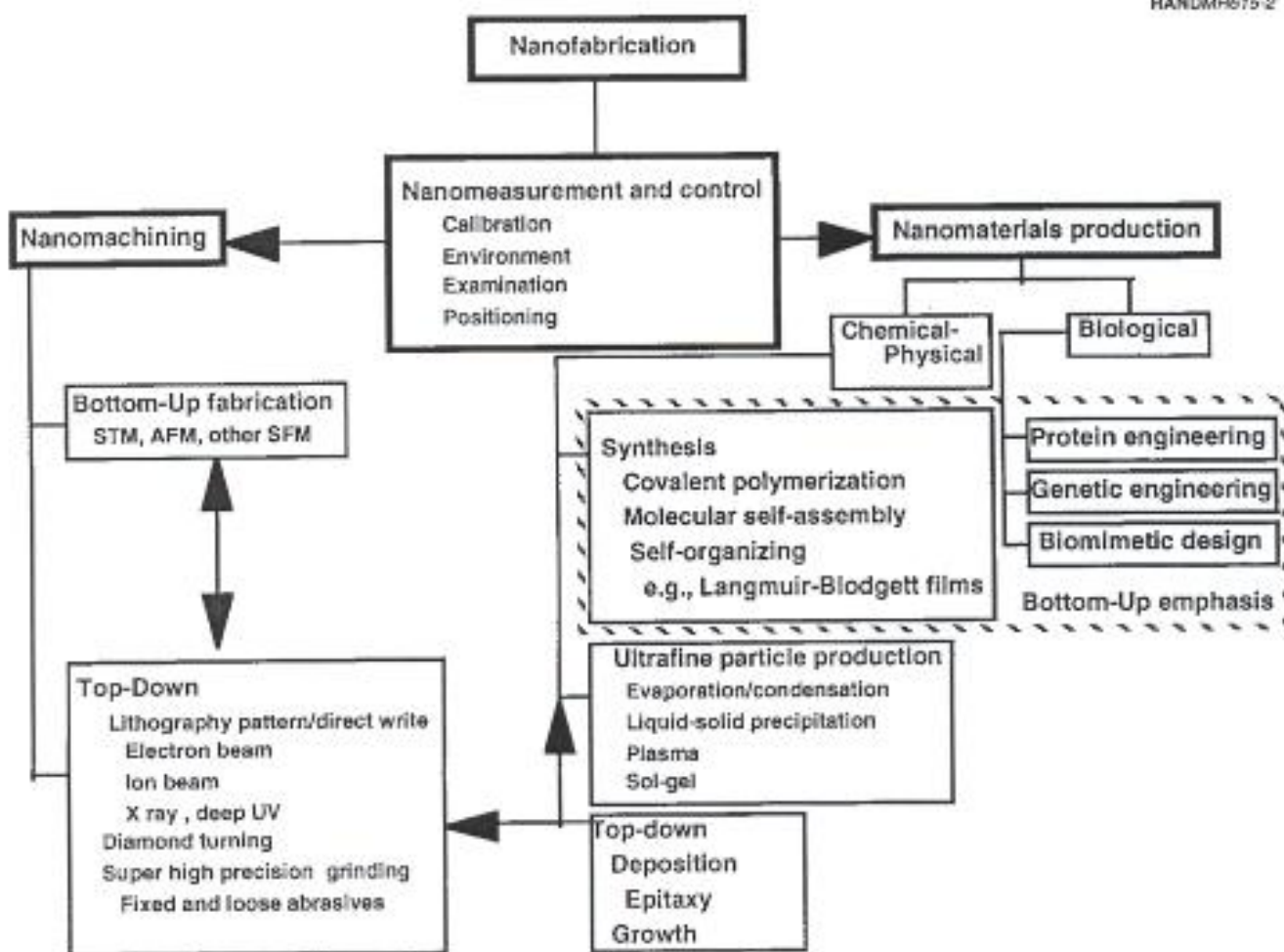


Fig. 35: Nanofabricação (Fonte: Nelson M., Shipbaugh C., 1995)

Uma das linhas de investigação nos processos de síntese consiste em obter emulsões a uma nano-escala a partir da qual os acabamentos podem ser aplicados aos materiais têxteis de uma maneira mais precisa e uniforme. Os acabamentos podem ser emulsificados sobre a forma de nano-micelas, nano-sol ou ainda envolvidos em nanocápsulas, podendo desta forma aderir ao material têxtil mais facilmente.

3.5.2 Processo e tecnologia de aplicação de nanopartículas em substratos têxteis pelo processo sol-gel

O processo sol-gel convencional possui uma limitada estabilidade em armazém, é combustível, e aplica-se por imersão com uma concentração aproximada de 1000 g/l, tendo uma temperatura de fixação na ordem dos 400^oc. Os requisitos para produtos do tipo sol-gel com aplicação no têxtil exigem, contudo, que estes produtos sejam estáveis à temperatura ambiente por longos períodos

de tempo (meses). Constitui também um dos requisitos que o seu processo de aplicação seja preferencialmente a foudardagem com uma concentração de aproximadamente 50 g/l, num processo de fixação que decorre durante 1 min a 170°C.

A versatilidade do método sol-gel ao nível da obtenção de materiais de diferentes composições e aplicações, apresenta-se como uma solução viável para o desenvolvimento de materiais com propriedades antimicrobianas, devido a possuírem uma série de características vantajosas, nomeadamente: boa aderência, aplicação simples, mínimos problemas de secagem, baixas temperaturas de densificação e possibilidade de funcionalizar mediante a incorporação de iões metálicos.

Os materiais obtidos pelo método sol-gel mostram propriedades mais vantajosas do que os preparados por métodos tradicionais, como por exemplo, elevada área superficial, obtenção de materiais de composição uniforme e estrutura controlada. (*Miller, J.B., et al, 1995; Cauqui, M.A., et al, 1992; Pârvulescu, V.I. et al, 2004; Hoang-Van, C. et al, 1998*)

O método sol-gel, conhecido pelos químicos há mais de um século, começou a ser utilizado em escala industrial em 1939 com os trabalhos da Schott Glass e Klister sobre a deposição de camadas delgadas de óxidos em vidros. (*Hiratsuka, R.S., et al*)

A partir da década de 80, houve um grande desenvolvimento na técnica sol-gel quando um grupo de pesquisadores preparou materiais compósitos constituídos por géis inorgânicos impregnados por polímeros orgânicos e copolímeros, formados por ligações químicas primárias entre cadeias poliméricas orgânicas e inorgânicas. (*Hiratsuka, R.S., et al*)

O termo sol é definido como uma dispersão de partículas coloidais num líquido (dimensões entre 1-100 nm), enquanto que o termo gel é definido como um sistema formado por uma rede rígida de partículas coloidais ou de cadeias poliméricas. (*Hench, L.L. et al, 1990; Iler, R.K., 1979*)

O processo sol-gel envolve uma transição do sistema sol para o sistema gel.

Um exemplo de aplicação de um processo sol-gel é conseguido com o agente antimicrobiano Silpure FBR-5 que, segundo o fabricante (Huntsman Textiles Effects), permite obter excelentes desempenhos a custos reduzidos.

O agente antimicrobiano Silpure FBR-5 é composto por dois componentes diferentes, designadamente, o Silpure FBR-5 Activador (parte A) e o Silpure FBR-5 (Parte B), sendo aplicados conjuntamente no substrato têxtil por foulardagem.

O Silpure FBR-5 Activador (parte A), composto de prata, é compatível com vários produtos utilizados no acabamento têxtil e o Silpure FBR-5 (Parte B), tratando-se de uma dispersão aquosa aniónica, pode ser utilizado com a maioria dos produtos de acabamento desde que não se trate de agentes catiónicos.

Trata-se de um produto que possui como vantagens um tratamento antimicrobiano eficaz, reduz os maus odores dos têxteis, não influencia o toque e possui uma eficácia elevada, razão pela qual permite que seja aplicado a baixas concentrações.

As nanopartículas de prata do Silpure FBR-5 actuam no crescimento dos microrganismos por vários processos: modificação da membrana plasmática, interferência com a funcionalidade do DNA e do RNA e bloqueio do grupo tiol nas proteínas e enzimas.

Importa salientar que se trata de um produto que não possui toxicidade para a saúde humana. Foi controlado por toxicólogos independentes e considerado como substância inofensiva para a saúde humana, quando usado correctamente, de acordo com as instruções de aplicação e as recomendações de segurança do produto.

O produto consta na lista de auxiliares Oeko-Tex para acabamento bio-activo (www.oeko-tex.com).

Todos os produtos biologicamente activos constantes na lista referida, são produtos químicos activos que foram controlados por toxicólogos e considerados inócuos para a saúde humana, desde que sejam utilizados conforme previsto. A segurança é avaliada com base em informações, relatórios de ensaios, modos de preparação, etc, que são disponibilizados pelo fabricante para o produto respectivo. Os relatórios de ensaios tidos em conta nesta avaliação foram elaborados por institutos toxicológicos e/ou dermatológicos acreditados.

3.5.3 Riscos da nanotecnologia na saúde humana

Várias descrições apontam para os riscos da prata na saúde humana, contudo, outras defendem que é o metal que apresenta a menor toxicidade para as células animais.

A Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos, em Novembro de 2006, publicou que, a utilização de nanopartículas de prata deve ser regulamentada, porque podem implicar danos ambientais. Actualmente estas são comercializadas como desinfectantes anti-bacteriais, em lavapropas, equipamentos de ar condicionado, purificadores de ar, contentores de alimentos, eliminação de cheiro em calçados, entre outros. A EPA considera que durante a produção, utilização e/ou disposição final as nanopartículas chegam ao ambiente, cursos de água, etc e podem matar organismos benéficos, bem como entrar nas cadeias alimentares com efeitos imprevisíveis. (http://resistir.info/varios/nanotecnologia_dez06.html)

Todavia, até o momento, há poucos estudos dos meios científicos, da indústria ou do governo publicados sobre os reais impactos ambientais e sobre a saúde das nanopartículas, pelo que, como atitude preventiva a manipulação das nanopartículas deve ser efectuada com o máximo de precaução e de acordo com as regras de segurança e higiene recomendadas para este tipo de produtos químicos. Análises de risco/toxicidade para a saúde humana devem ser levadas a cabo de forma a obter o respectivo certificado de segurança biológica.

3.6 Noções de Conforto

O conforto é já um parâmetro chave na selecção e compra de produtos têxteis, seja de vestuário ou produtos para o lar, que tem vindo a tornar-se, cada vez mais, uma exigência actual e consciente dos utilizadores finais dos seus produtos.

O conforto é definido segundo *Slater, K 1987*, como um “estado agradável de harmonia fisiológica, psicológica e física entre o ser humano e o ambiente”.

Uma definição unanimemente aceite para o conforto é “a ausência de dor e de desconforto em estado neutro”. (*Slater, K 1997*)

Trata-se de um dos aspectos mais importantes do vestuário, principalmente para produtos directamente em contacto com a pele, como roupa interior, calças, blusas, camisas, etc.

O conforto pode ser distinguido a quatro níveis:

- Conforto termofisiológico: traduz um estado térmico e de humidade à superfície da pele confortável, que envolve a transferência de calor e de vapor de água através dos materiais têxteis

ou do vestuário. Influencia directamente a regulação térmica do utilizador sendo, a este nível, importantes o isolamento térmico, a respirabilidade e o controlo de humidade.

- Conforto sensorial ou tátil: que caracteriza as sensações mecânicas que um material têxtil causa quando em contacto directo com a pele. Estas percepções podem ser agradáveis, tais como a lisura e macieza, mas podem também ser desagradáveis se um material têxtil for áspero, demasiado rígido ou se se tornar pegajoso em contacto com a pele quando molhado;

- Conforto psicológico ou estético: percepção subjectiva da avaliação estética, com base na visão, toque, audição e olfacto, que contribuem para o bem-estar total do utilizador. É influenciado pela moda, preferências pessoais, ideologias, etc.

- Conforto ergonómico (facilidade de movimento): que diz respeito ao assentar do vestuário e à liberdade de movimentos durante o uso. Este tipo de conforto é essencialmente dependente do modelo do vestuário e da elasticidade dos materiais.

As características de conforto que um consumidor procura numa dada peça de vestuário podem ser vistas como as suas especificações estéticas (aquelas que irão dar ao consumidor conforto psicológico) e como as suas especificações funcionais (aquelas que lhe irão dar conforto fisiológico e sensorial).

O conforto total do vestuário inclui então a componente sensorial, a componente termofisiológica, e a componente psicológica (cor, tamanho, design).

Segundo o Instituto de Higiene do Vestuário (H.I.V.) de Hohenstein, na Alemanha, o conforto total é expresso pela seguinte equação:

$$K_{total} = \frac{1}{3} K_{sensorial} + \frac{2}{3} K_{termofisiológico}$$

Onde:

K_{total} = conforto total

$K_{sensorial}$ = conforto sensorial

$K_{termofisiológico}$ = conforto termofisiológico

O conforto proporcionado pelo vestuário têxtil é uma consequência de vários parâmetros de construção do produto têxtil, os quais devem ser ajustados tendo em vista um bom nível de conforto.

3.6.1 Conceitos de fisiologia

A Fisiologia do vestuário tem em consideração a avaliação subjectiva do vestuário e o comportamento fisiológico do vestuário no triângulo de interacção: Homem – Vestuário – Meio Ambiente.

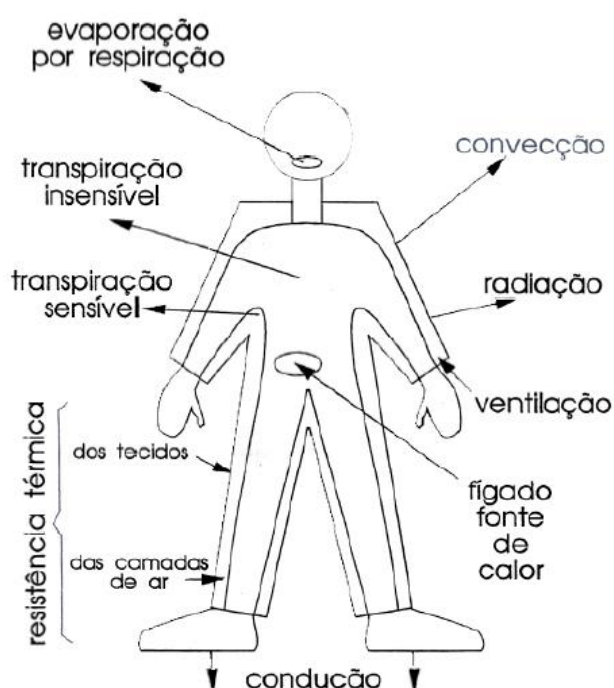


Fig. 36: Sistema Térmico Homem – Vestuário – Ambiente (Fonte: Soutinho, H. C., 2006)

No corpo humano a energia é produzida através da actividade metabólica e celular, sendo continuamente dissipada para o ambiente através do transporte térmico por convecção, radiação e condução, bem como por evaporação. O vestuário pode interferir grandemente com o funcionamento deste sistema, devendo por isso permitir as seguintes propriedades:

- Isolamento térmico;
- Permeabilidade ao vapor de água e aos líquidos (transpiração);
- Permeabilidade ao ar (ventilação suficiente).

As propriedades de isolamento térmico, permeabilidade ao vapor de água e permeabilidade ao ar são determinadas pela estrutura dos substratos têxteis, especialmente a espessura e a porosidade, enquanto que as propriedades de transferência de líquidos apresentam uma variação significativa com o tipo e mistura de fibras.

De facto, o vestuário funciona como uma barreira entre a superfície cutânea e o ambiente, agindo tanto sobre as trocas de calor convectivas e radiantes como sobre as trocas de calor por evaporação.

A quantidade de calor trocada depende da diferença entre a temperatura superficial e o meio, esta diminui à medida que aumenta a resistência térmica. Portanto, quanto mais espessas, menos condutivas e menos permeáveis forem às roupas, maior dificuldade terá o organismo para trocar calor com o meio ambiente.

Se o vestuário for termicamente inadequado, a remoção de calor do corpo é dificultada:

- Diminui a troca térmica por convecção porque é um obstáculo ao movimento do ar junto à pele;
- Diminui o processo de evaporação do suor num grau que varia conforme a permeabilidade da roupa ao vapor de água. Quanto menor a permeabilidade da roupa, menor será a remoção de calor por evaporação.

O vestuário influencia assim as trocas de calor entre a pele e o ambiente, razão pela qual é importante conhecer a forma como o calor flui entre o corpo e o ambiente - balanço térmico corporal.

O Balanço Térmico é o equilíbrio entre a produção interna de calor, devido ao metabolismo humano e a perda de calor para o meio ambiente, a fim de manter a temperatura do corpo constante (cerca de 37°C) e em condições normais de saúde e conforto.

A temperatura da pele para um estado neutro, a uma temperatura ambiente de 20 °C é de cerca 33 °C. Para esta temperatura ambiente, a temperatura da pele mantém a temperatura interna em cerca de 37°C. Considera-se geralmente a temperatura interna como sendo a temperatura dos órgãos vitais, incluindo o cérebro.

O calor produzido no corpo é determinado pelo nível de actividade da pessoa, sendo também variável com a idade e o sexo.

O calor produzido no organismo é transferido para a pele e depois para o ambiente, podendo ser considerado como um fluxo (fluxo de calor). Este calor é trocado com o ambiente exterior por condução, convecção, radiação e evaporação.

- Condução (K): através dos pés ou de qualquer outro contacto directo com o meio ambiente sólido;

- Convecção (C): quando há uma transferência de calor entre uma superfície (pele) e um fluido em movimento a temperaturas diferentes (ar, água);

- Radiação (R): O corpo humano transmite ou recebe calor por radiação, conforme sua temperatura seja maior ou menor que as das superfícies existentes no ambiente. Assim, se as superfícies do ambiente forem frias, o corpo humano perde calor por radiação. Contrariamente, se as superfícies forem mais quentes do que a pele, a temperatura do corpo aumentará por efeito da radiação. A transferência de calor por radiação depende, pois, das temperaturas do corpo e das superfícies circundantes, mas não necessita da movimentação do ar para que se processe, uma vez que a propagação se realiza sob a forma de energia radiante. Quando esta energia radiante atinge a superfície do corpo, transforma-se em calor. A radiação realiza-se sob a forma de ondas do tipo das electromagnéticas, não necessita de ar, nem outro qualquer meio intermediário para se propagar.

- Evaporação (E): No homem a evaporação tem lugar ao nível do aparelho respiratório e da pele. Ao nível da pele, a evaporação engloba a água segregada pelas glândulas sudoríferas e a água que se difunde através da pele, a partir dos tecidos mais profundos. As perdas de calor processadas ao nível das vias respiratórias e as que se verificam através das camadas superficiais da pele têm um valor semelhante. Em situações de elevada exposição ao calor, tais perdas são desprezíveis, em comparação com a perda de calor por sudação.

A condução não assume geralmente grande relevância. A convecção depende da temperatura e velocidade do ar exterior. A radiação depende da temperatura média radiante e a evaporação depende da humidade do ar e da sua velocidade.

O Conforto Térmico Humano e sua resposta fisiológica, ao stress térmico, dependem da produção de calor metabólico, do nível de factores ambientais (velocidade do ar, temperatura do ar, humidade relativa e temperatura média radiante) e do tipo de vestuário que o indivíduo estiver usando. O efeito conjugado dos mesmos é que definirá o grau de conforto ou desconforto térmico sentido pelas pessoas. (http://www.master.iag.usp.br/conforto/parametros_do_CT.html)

3.7 Propriedades fisiológicas

A presença de humidade no substrato têxtil, a qual se pode encontrar na forma de vapor ou de líquido, influencia bastante o conforto.

Se a humidade evaporar na pele e passar como vapor através do substrato, os poros deste permanecem livres, o que facilita o movimento do ar através do substrato e reserva-o para que os poros estejam cheios de ar, o que faz com que o isolamento do artigo ao calor permaneça.

Se a humidade da pele for transportada à superfície na fase líquida e só se evapora ao alcançar a camada de ar presente na superfície do substrato têxtil, o conforto é reduzido por duas razões:

- em primeiro lugar, a sensação de humidade é percebida pelos nervos sensoriais da pele, e o artigo de vestuário sente-se húmido;
- em segundo lugar, os poros do tecido vão-se enchendo de água e não podem reter as bolsas de ar, pelo que se perde a capacidade de isolamento do artigo e sente-se frio.

É pois importante conhecer as propriedades de permeabilidade ao vapor de água e resistência evaporativa dos substratos têxteis.

3.7.1 Permeabilidade ao vapor de água

Consiste na perda de água, sob a forma de vapor, e é uma das propriedades mais relevantes de uma estrutura fibrosa, uma vez que é importante para manter o equilíbrio térmico do utilizador. Permite assim avaliar a respirabilidade do material e portanto o grau de conforto dos artigos, pois como referido, se a humidade evaporar na pele e passar como vapor pela estrutura fibrosa, os poros desta permanecem livres, facilitando o movimento do ar através do material fibroso e reservando-o para que os poros estejam cheios de ar. Isto faz com que o isolamento do artigo ao calor permaneça. (BS7209 (1990), *British Standard Specification for Water Vapour Permeable Apparel fabrics*).

A permeabilidade ao vapor de água (p_v) é calculada a partir da seguinte equação:

$$p_v = 100 \frac{q^w_s}{q^w_0} \quad [\%]$$

Onde:

qw_s = fluxo térmico medido pelo sensor do fluxo térmico na presença do provete [W/m²]

qw_0 = fluxo térmico registado pelo aparelho na ausência do provete a ensaiar [W/m²]

3.7.2 Resistência Evaporativa

Tal como a permeabilidade ao vapor de água, a resistência evaporativa também pode ser avaliada com recurso ao aparelho Parmetest. Em termos físicos, representa o inverso da permeabilidade ao vapor de água e o seu cálculo pode ser efectuado a partir da seguinte expressão:

$$R_{et} = \frac{pw_{sat} - pw_0}{qw_s} \quad [m^2 Pa W^{-1}]$$

Onde:

pw_{sat} = pressão parcial saturada de vapor de água para uma temperatura laboratorial de 20 a 22°C [Pa]

pw_0 = pressão parcial de vapor de água laboratorial para uma percentagem de humidade de 60 a 65% [Pa]

CAPITULO IV - Desenvolvimento experimental

4.1 Planeamento e concepção experimental

O desenvolvimento experimental para avaliação do desempenho das amostras de malhas destinadas à concepção de uma meia com propriedades terapêuticas, ao nível da prevenção e da cicatrização de úlceras nos membros inferiores dos diabéticos, decorreu tendo em consideração a seguintes considerações:

- Propriedades antimicrobianas;
- Conforto fisiológico;
- Propriedades relacionadas com o uso.

Com estes objectivos, foram testadas três amostras têxteis em malha de trama, designadamente:

- Uma estrutura 100% algodão;
- Uma estrutura 50% algodão/50% poliéster (Trevira Bioactive).
- Uma estrutura 100% poliéster (Trevira Bioactive).

Foram produzidos fios e tricotadas malhas com recurso aos equipamentos disponíveis nas oficinas têxteis da Universidade da Beira Interior. A estrutura de malha produzida foi para todas as amostras a estrutura Jersey.



Fig. 37: Equipamento Tricolab

À excepção dos ensaios de determinação da actividade antimicrobiana, que foram efectuados pelo grupo Clinálise, todos os outros destinados a avaliar as propriedades/funcionalidades das amostras

foram realizados utilizando as tecnologias e os equipamentos disponíveis na Universidade da Beira Interior.

Estas amostras foram posteriormente sujeitas a um processo de impregnação com um nanoacabamento antimicrobiano de nanopartículas de prata (Silpure FBR-5), baseado num processo sol-gel. Neste processo foram utilizados os equipamentos Foulard Mathis e a Râmula Mathis, do laboratório de tinturaria da Universidade da Beira Interior.

Foram ainda avaliadas as propriedades dimensionais das malhas, de modo a ser possível efectuar a sua caracterização.

4.2 Selecção dos materiais utilizados

A selecção das fibras utilizadas baseou-se essencialmente nas propriedades intrínsecas das mesmas, tendo em consideração a realidade que envolve a problemática do pé diabético e a opinião de profissionais que lidam mais directamente com esta realidade (médicos, enfermeiros, podologistas, farmacêuticos, entre outros profissionais de saúde), cujas opiniões maioritárias se direccionavam para meias de algodão e/ou de fibras bioactivas.

Assim, a opção pela fibra de políester Trevira Bioactivo é justificada pelas características da fibra, já descritas no ponto 2.5.3.2 - Compostos e fibras antimicrobianas para têxteis funcionais, onde é feita referência à fibra de Políester Trevira.

Relativamente ao algodão, saliente-se a sua elevada hidrofiliidade, a sua elevada permeabilidade e o seu toque suave e quente. As fibras de algodão caracterizam-se ainda por serem boas condutoras de calor, devido ao grande teor de humidade. É também um dos materiais naturais de aplicação médica mais comum. Caracteriza-se por ser não-alérgico e possuir boa absorção de humidade.

4.2.1 Caracterização dimensional das amostras

4.2.1.1 Amostras não tratadas

As malhas de trama foram caracterizadas dimensional e estruturalmente, apresentando-se os resultados nos quadros seguintes.

Quadro 12: Caracterização dimensional da malha 100% algodão sem tratamento

Ensaio realizado	Resultado	Norma de ensaio
Malha de trama 100% algodão		
Estrutura	Jersey	-
Massa por unidade de superfície [g/m ²]	1,92	NP EN 12127:1999
Comprimento de laçada (cm)	0,47	Procedimento interno
Densidade (fileiras/cm)	10,07	NP EN 1049-2:1995
Densidade (colunas/cm)	7,73	NP EN 1049-2:1995
Massa linear (Tex)	23,7	NP EN 4105:1990
K (grau de aperto)	10,36	Procedimento interno

Quadro 13: Caracterização dimensional da malha 50% algodão/50% poliéster sem tratamento

Ensaio realizado	Resultado	Norma de ensaio
Malha de trama 50% algodão/50% poliéster (Trevira Bioactive)		
Estrutura	Jersey	-
Massa por unidade de superfície [g/m ²]	1,89	NP EN 12127:1999
Comprimento de laçada (cm)	0,47	Procedimento interno
Densidade (fileiras/cm)	9,87	NP EN 1049-2:1995
Densidade (colunas/cm)	7,67	NP EN 1049-2:1995
Massa linear (Tex)	25,1	NP EN 4105:1990
K (grau de aperto)	10,66	Procedimento interno

Quadro 14: Caracterização dimensional da malha 100% poliéster sem tratamento

Ensaio realizado	Resultado	Norma de ensaio
Malha de trama 100% poliéster (Trevira Bioactive)		
Estrutura	Jersey	-
Massa por unidade de superfície [g/m ²]	1,94	NP EN 12127:1999
Comprimento de laçada (cm)	0,49	Procedimento interno
Densidade (fileiras/cm)	48	NP EN 1049-2:1995
Densidade (colunas/cm)	9,60	NP EN 1049-2:1995
Massa linear (Tex)	24,8	NP EN 4105:1990
K (grau de aperto)	10,16	Procedimento interno

Os ensaios foram realizados cumprindo integralmente as normas de ensaio referidas.

4.2.1.2 Amostras tratadas com tratamento antimicrobiano

As amostras foram impregnadas com um tratamento antimicrobiano baseado em nanopartículas de prata, utilizando o agente Silpure FBR-5 (disponibilizado pela empresa Huntsman Textiles Effects), o qual permite uma distribuição uniforme das nanopartículas.

O agente antimicrobiano Silpure FBR-5 é composto por dois componentes diferentes, designadamente, o Silpure FBR-5 Activador (parte A) e o Silpure FBR-5 (Parte B), sendo aplicados conjuntamente no substrato têxtil por foulardagem. O tratamento baseia-se num processo sol-gel.

Uma breve caracterização deste produto foi anteriormente efectuada no ponto 3.5.2 – “Processo e tecnologia de aplicação de nanopartículas em substratos têxteis pelo processo sol-gel”.

As condições de aplicação operacionais utilizadas no tratamento antimicrobiano, decorreram de acordo com a receita e as indicações técnicas expressas pelo fabricante e podem ser verificadas em anexo na ficha técnica do Silpure FBR-5.

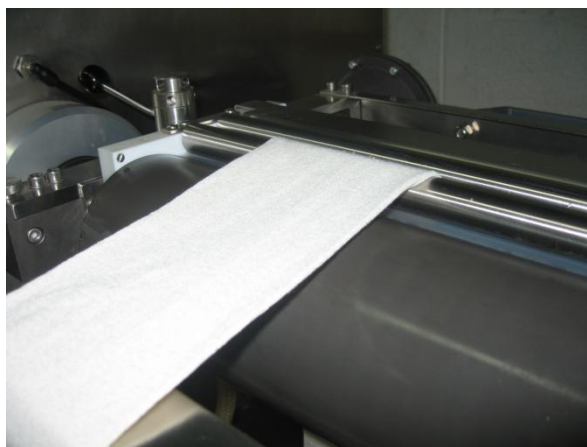


Fig. 38: Amostra a ser impregnada com tratamento antimicrobiano



Fig. 39: Amostra após tratamento antimicrobiano

Quadro 15: Caracterização dimensional da malha 100% algodão com tratamento

Ensaio realizado	Resultado	Norma de ensaio
Malha de trama 100% algodão		
Estrutura	Jersey	-
Massa por unidade de superfície [g/m ²]	2,02	NP EN 12127:1999
Comprimento de laçada (cm)	0,47	Procedimento interno
Densidade (fileiras/cm)	9,53	NP EN 1049-2:1995
Densidade (colunas/cm)	8,53	NP EN 1049-2:1995
Massa linear (Tex)	23,7	NP EN 4105:1990
K (grau de aperto)	10,36	Procedimento interno

Quadro 16: Caracterização dimensional da malha 50% algodão/50% poliéster com tratamento

Ensaio realizado	Resultado	Norma de ensaio
Malha de trama 50% algodão/50% poliéster (Trevira Bioactive).		
Estrutura	Jersey	-
Massa por unidade de superfície [g/m ²]	2,01	NP EN 12127:1999
Comprimento de laçada (cm)	0,47	Procedimento interno
Densidade (fileiras/cm)	9,27	NP EN 1049-2:1995
Densidade (colunas/cm)	9,13	NP EN 1049-2:1995
Massa linear (Tex)	25,1	NP EN 4105:1990
K (grau de aperto)	10,66	Procedimento interno

Quadro 17: Caracterização dimensional da malha 100% poliéster com tratamento

Ensaio realizado	Resultado	Norma de ensaio
Malha de trama 100% poliéster (Trevira Bioactive).		
Estrutura	Jersey	-
Massa por unidade de superfície [g/m ²]	2,06	NP EN 12127:1999
Comprimento de laçada (cm)	0,49	Procedimento interno
Densidade (fileiras/cm)	9,67	NP EN 1049-2:1995
Densidade (colunas/cm)	8,27	NP EN 1049-2:1995
Massa linear (Tex)	24,8	NP EN 4105:1990
K (grau de aperto)	10,16	Procedimento interno

4.2.1.3 Densidade

No gráfico seguinte ilustra-se a variação do número de colunas e do número de fileiras verificada nas amostras antes e após tratamento antimicrobiano.

Verificou-se que, relativamente à densidade no sentido das colunas, com o tratamento antimicrobiano aplicado, houve um aumento de densidade, situação contrária à que ocorreu no sentido das fileiras onde, à excepção da amostra 100% poliéster que apresentou valores iguais antes e depois do tratamento. Nas restantes amostras, a densidade no sentido das fileiras diminuiu.

Tal facto justifica-se essencialmente devido a duas razões, nomeadamente, pelas condições de temperatura usadas no tratamento, e também pelo facto de as malhas não terem sido relaxadas antes da caracterização.

4.3 Resultados Obtidos

4.3.1 Avaliação das propriedades antimicrobianas

A avaliação das propriedades antimicrobianas das amostras foi executada seguindo o procedimento técnico descrito na Norma ISO 20645:2005. O presente método permite a avaliação da actividade antibacteriana de uma forma qualitativa.

Para este efeito, utilizaram-se bactérias representativas de cada uma das duas grandes estirpes: *Escherichia coli* (Gram-negativa) e *Staphylococcus aureus* (Gram-positiva).

As estirpes utilizadas foram sujeitas a uma coloração gram e a um teste de filamentação. Posteriormente foram observadas ao microscópio. Refira-se que esta coloração é uma técnica de preparação prévia, que consiste em corar os microrganismos para permitir a observação microscópica, para deste modo ter a certeza da sua identidade, uma vez que cada espécie tem uma cor típica diferente.

Foram utilizadas placas individuais para cada amostra com e sem tratamento antimicrobiano, seguindo o procedimento descrito na referida norma:

Quadro 18: Resultados da avaliação do comportamento antibacteriano da amostra 100% algodão

AMOSTRA 100% ALGODÃO			
SEM TRATAMENTO		COM TRATAMENTO	
<i>E. COLI</i>	<i>S. AUREUS</i>	<i>E. COLI</i>	<i>S. AUREUS</i>
Não é visível qualquer actividade antibacteriana nem há evidência de formação de um halo de inibição	Não é visível qualquer actividade antibacteriana nem há evidência de formação de um halo de inibição	Actividade antibacteriana eficaz, com halo de inibição total	Actividade antibacteriana eficaz, com halo de inibição total

Quadro 19: : Resultados da avaliação do comportamento antimicrobiano da amostra 100% poliéster

AMOSTRA 100% POLIÉSTER			
SEM TRATAMENTO		COM TRATAMENTO	
<i>E. COLI</i>	<i>S. AUREUS</i>	<i>E. COLI</i>	<i>S. AUREUS</i>
Não é visível qualquer actividade antibacteriana nem há evidência de formação de um halo de inibição	Não é visível qualquer actividade antibacteriana nem há evidência de formação de um halo de inibição	Actividade antibacteriana eficaz, com halo de inibição total	Actividade antibacteriana eficaz, com halo de inibição total

Quadro 20: : Resultados da avaliação do comportamento antimicrobiano da amostra 50%algodão/50%poliéster

AMOSTRA 50% ALGODÃO / 50% POLIÉSTER			
SEM TRATAMENTO		COM TRATAMENTO	
<i>E. COLI</i>	<i>S. AUREUS</i>	<i>E. COLI</i>	<i>S. AUREUS</i>
Não é visível qualquer actividade antibacteriana nem há evidência de formação de um halo de inibição	Não é visível qualquer actividade antibacteriana nem há evidência de formação de um halo de inibição	Actividade antibacteriana eficaz, com halo de inibição total	Actividade antibacteriana eficaz, com halo de inibição total

Por outro lado, verificou-se também que a actividade das amostras tratadas com o acabamento de nanopartículas de prata é superior contra a bactéria Gram-positiva (*S. aureus*), do que com a bactéria Gram-negativa, (*E. coli*), o que é facilmente justificável pelo facto das bactérias Gram-negativas apresentarem duas membranas na sua estrutura o que lhes confere maior resistência. (Ramachandran et al., 2004; Miquel et al., 2003).

Pela análise dos quadros anteriores pode-se constatar que, o tratamento antimicrobiano aplicado impede o crescimento microbiano em todas as amostras avaliadas. A título exemplificativo, podem-se observar as imagens obtidas para alguns testes realizados:

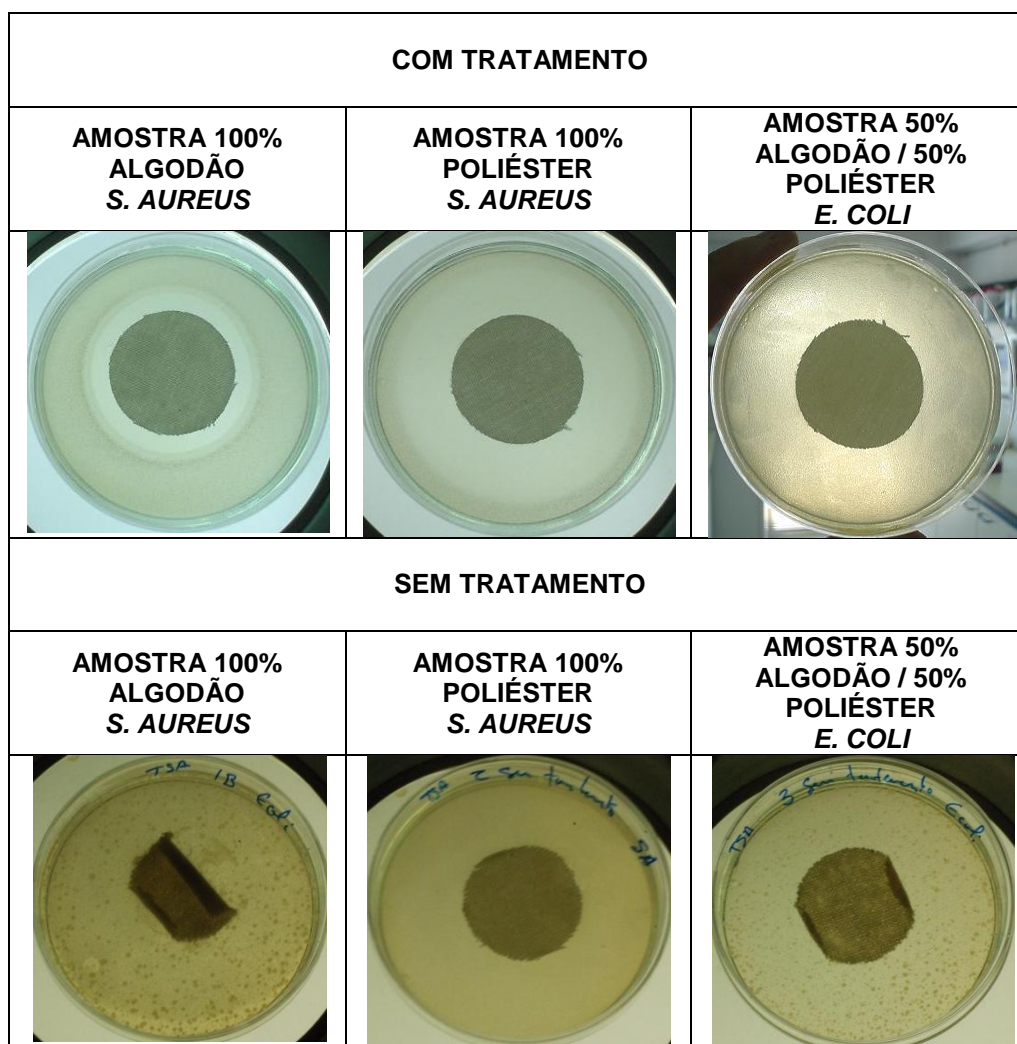


Fig. 40: Resultado do tratamento antimicrobiano das malhas estudadas

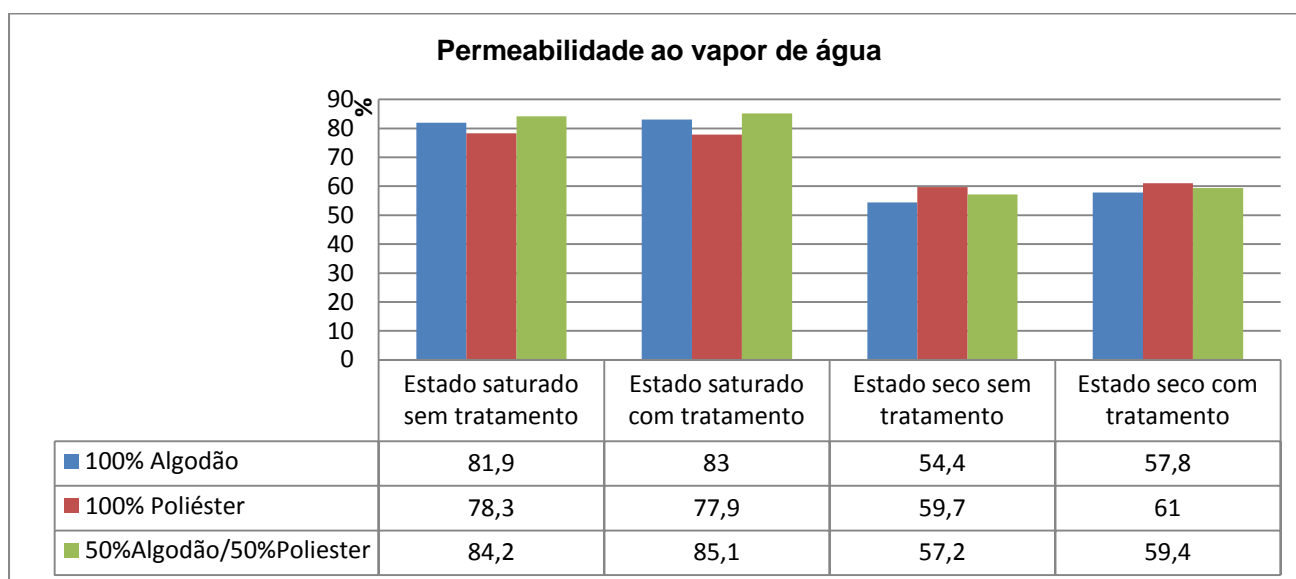
4.3.2 Avaliação das propriedades fisiológicas

4.3.2.1 Permeabilidade ao vapor de água

A avaliação das propriedades fisiológicas baseou-se na avaliação das propriedades permeabilidade ao vapor de água e resistência evaporativa das estruturas em malha de trama com recurso ao permeabilímetro Permetest de acordo com a norma ISO 11092:1993.

Os resultados obtidos para a propriedade permeabilidade ao vapor de água encontram-se representados no gráfico seguinte.

Gráfico 1: Permeabilidade ao vapor de água



Através da sua análise verifica-se que a amostra 50%algodão/50%poliéster foi a que apresentou antes e após tratamento o maior valor, embora a diferença em relação à malha 100% algodão não seja significativa, e a amostra 100% poliéster foi a que apresentou o valor mais baixo.

Pelos resultados obtidos constata-se que o tratamento antimicrobiano não afecta de maneira significativa os resultados obtidos.

Entretanto, a permeabilidade ao vapor de água da malha 100%poliéster é inferior ao das outras estruturas, dado que, sendo o fluxo evaporativo total expresso por:

$$q_T = q_{pele} + q_{malha} \quad [W/m^2]$$

Onde:

q_T = Fluxo evaporativo total $[W/m^2]$

q_{pele} = Fluxo evaporativo a partir da pele $[W/m^2]$

q_{malha} = Fluxo evaporativo a partir da superfície exterior da malha $[W/m^2]$

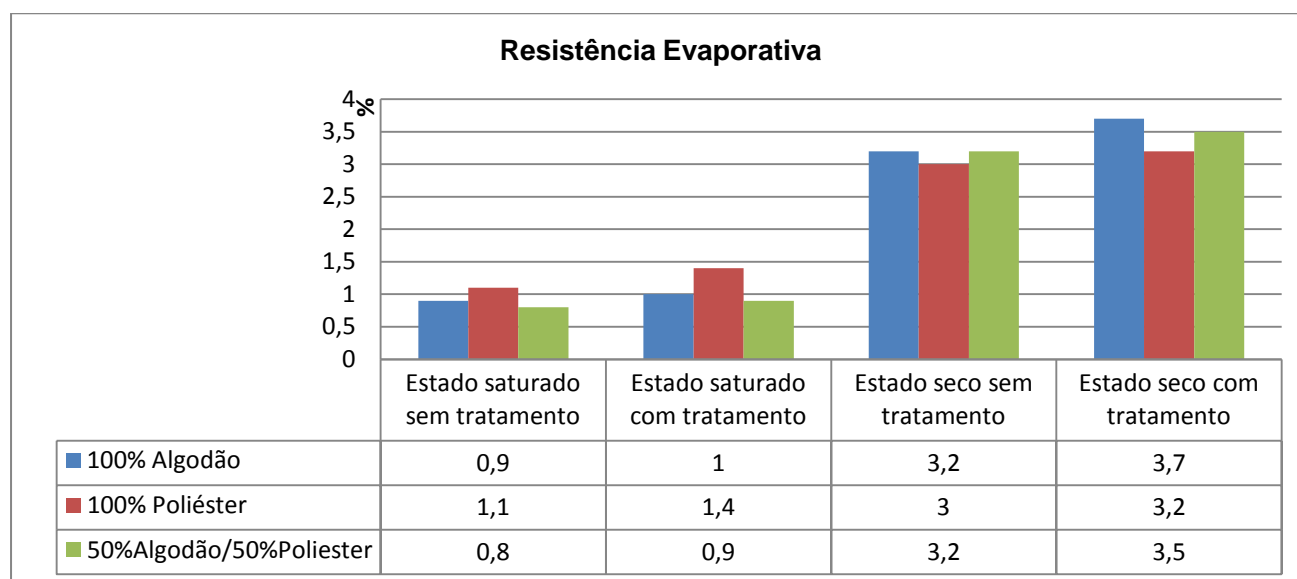
Com o aumento da percentagem de humidade relativa da malha, o fluxo evaporativo a partir da pele diminui dado a estrutura ficar como que bloqueada pela presença de água na mesma. Entretanto, o fluxo evaporativo a partir da superfície exterior da malha aumenta, justificando o aumento do fluxo evaporativo total.

Na malha 100% poliéster e para o estado saturado, antes e após tratamento antimicrobiano, o valor da permeabilidade é inferior ao apresentado pelas outras malhas, dado a componente fluxo evaporativo a partir da superfície exterior da malha ser inferior, dado o carácter hidrófobo da fibra, o que faz diminuir a percentagem de humidade na malha e, consequentemente, o fenómeno evaporativo a partir da mesma.

4.3.2.2 Resistência evaporativa

No que se refere ao comportamento da propriedade resistência evaporativa e dado esta ser o inverso da permeabilidade ao vapor de água, observou-se um comportamento semelhante, embora inverso, tal como representado no gráfico seguinte.

Gráfico 2: Resistência evaporativa



4.3.3 Avaliação das propriedades mecânicas

4.3.3.1 Resistência ao pilling

A resistência ao pilling foi determinada no equipamento Martindale, segundo a norma EN ISO 12945-2 (Determinação da propensão ao aparecimento de pêlo superficial e borboto no Martindale).

Os resultados obtidos estão representados no quadro que se segue.

Quadro 21: Resistência ao pilling das amostras

PILLING (MARTINDALE)	
100% POLIÉSTER	
PRÉ-TRATAMENTO	PÓS- TRATAMENTO
2	2
100% ALGODÃO	
PRÉ-TRATAMENTO	PÓS- TRATAMENTO
1-2	1-2
50% ALGODÃO / 50% POLIÉSTER	
PRÉ-TRATAMENTO	PÓS- TRATAMENTO
1-2	1-2

Pode-se verificar que o grau de Pilling nas malhas analisadas não sofreu alteração após o tratamento antimicrobiano em nenhuma das amostras.

4.3.3.2 Resistência à abrasão

A resistência à abrasão foi determinada no equipamento Martindale, segundo a norma ISO 12947-2 (Determinação da resistência à abrasão pelo método Martindale) e os resultados obtidos são os que se seguem.

Quadro 22: Resistência à abrasão das amostras

ABRASÃO	
100% POLIÉSTER – NÃO TRATADO	100% POLIÉSTER – TRATADO
1 Fio partido aos 11.000	1 Fio partido aos 12000
100% ALGODÃO – NÃO TRATADO	100% ALGODÃO – TRATADO
1 Fio partido aos 15.000	1 Fio partido aos 16000
50% ALGODÃO/50% POLIÉSTER NÃO TRATADO	50% ALGODÃO/50% POLIÉSTER TRATADO
1 Fio partido aos 15.000	1 Fio partido aos 15.000

Pode verificar-se que o tratamento antimicrobiano não traduziu alterações significativas no comportamento das amostras.

4.3.3.3 Resistência à tracção

A resistência à tracção foi determinada no equipamento dinamómetro, segundo a norma NP EN ISO 13934-1:2001.

Os resultados médios obtidos em cinco ensaios realizados são os que a seguir se apresentam.

Quadro 23: Resistência à tracção da amostra 100% Poliéster

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRACÇÃO – PRÉ TRATAMENTO					
100% POLIÉSTER					
SENTIDO DAS COLUNAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	253.5	281.7	262.9	9.785
	%Alonga.	61.67	72.5	68.24	4.133
	Joule	10.79	12.58	11.74	0.5827
ROTURA	Newton	253.5	281.7	262.5	9.876
	%Alonga.	62.09	72.5	68.32	4.003
	Joule	11.01	12.58	11.79	0.5145
SENTIDO DAS FILEIRAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	134.6	177.6	155.9	15.52
	%Alonga.	73.72	86.66	81.31	4.252
	Joule	7.419	10.68	9.236	1.119
ROTURA	Newton	134.6	177.6	155.9	15.52
	%Alonga.	73.72	86.66	81.31	4.252
	Joule	7.419	10.68	9.236	1.119
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRACÇÃO – PÓS-TRATAMENTO					
SENTIDO DAS COLUNAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	233.3	317.8	265.2	34
	%Alonga.	55.4	87.91	67	11.27
	Joule	8.86	17.43	11.79	3.141
ROTURA	Newton	233.3	317.8	265.2	34
	%Alonga.	55.4	87.91	67	11.27
	Joule	8.86	17.43	11.79	3.141
SENTIDO DAS FILEIRAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	144.8	174.8	158.3	10.38
	%Alonga.	67.05	80.8	75.64	5.042
	Joule	6.725	9.765	8.406	0.9742
ROTURA	Newton	144.8	174.8	158.3	10.37
	%Alonga.	67.05	80.8	75.72	5.055
	Joule	6.725	9.765	8.433	0.9808

Quadro 24: Resistência à tracção da amostra 100% Algodão

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRACÇÃO – PRÉ TRATAMENTO					
100% ALGODÃO					
SENTIDO DAS COLUNAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	179.9	208.8	199	10.36
	%Alonga.	39.98	45.39	42.64	2.011
	Joule	4.389	5.102	4.654	0.257
ROTURA	Newton	179.9	208.8	196.4	9.497
	%Alonga.	39.98	45.39	43.31	1.805
	Joule	4.389	5.5	4.911	0.4189
SENTIDO DAS FILEIRAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	119.5	154.8	134.2	12.25
	%Alonga.	59.98	77.47	70.06	6.022
	Joule	4.592	5.481	5.009	0.2857
ROTURA	Newton	119.5	154.8	134	12.19
	%Alonga.	59.98	77.47	70.23	6.063
	Joule	4.592	5.481	5.054	0.2921
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRACÇÃO – PÓS-TRATAMENTO					
SENTIDO DAS COLUNAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	160.8	231.7	211	25.53
	%Alonga.	47.89	61.23	52.56	4.905
	Joule	4.065	6.892	5.69	0.9537
ROTURA	Newton	160.8	231.7	211	25.53
	%Alonga.	47.89	61.23	52.56	4.905
	Joule	4.065	6.892	5.69	0.9537
SENTIDO DAS FILEIRAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	136.6	155.6	146.1	7.098
	%Alonga.	56.24	74.97	63.31	6.301
	Joule	4.71	5.482	5.306	0.2985
ROTURA	Newton	136.6	154.4	145.9	6.786
	%Alonga.	56.66	74.97	63.39	6.209
	Joule	4.71	5.611	5.332	0.3175

Quadro 25: Resistência à tracção da amostra 50% Algodão/50%Poliéster

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRACÇÃO – PRÉ TRATAMENTO					
50% ALGODÃO/50% POLIÉSTER					
SENTIDO DAS COLUNAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	182.8	239.7	208.4	19.19
	%Alonga.	43.74	48.72	45.9	2.012
	Joule	5.106	7.442	6.146	0.8173
ROTURA	Newton	182.8	39.6	207.9	18.94
	%Alonga.	43.74	49.13	46.07	2.212
	Joule	5.106	7.641	6.222	0.9041
SENTIDO DAS FILEIRAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	125.7	153.8	138.5	9.113
	%Alonga.	64.13	77.47	69.82	4.422
	Joule	5.472	7.044	6.036	0.5548
ROTURA	Newton	125.7	153.8	137.9	9.368
	%Alonga.	64.13	77.47	70.07	4.318
	Joule	5.472	7.044	6.1	0.5373
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRACÇÃO – PÓS-TRATAMENTO					
SENTIDO DAS COLUNAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	166.1	252.6	196.2	29.75
	%Alonga.	49.15	53.33	51.49	1.506
	Joule	5.18	8.273	6.35	1.114
ROTURA	Newton	166.1	252.6	195.9	29.9
	%Alonga.	49.15	53.33	51.65	1.515
	Joule	5.357	8.273	6.411	1.056
SENTIDO DAS FILEIRAS					
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PAD
MÁXIMO	Newton	133.1	150.1	139.6	6.056
	%Alonga.	61.63	69.13	65.22	2.871
	Joule	5.514	6.212	5.921	0.2867
ROTURA	Newton	131.5	150.1	139	6.374
	%Alonga.	62.88	70.8	65.89	3.066
	Joule	5.843	6.257	6.098	0.1439

Segundo os resultados obtidos nos ensaios, pode verificar-se que, embora sem diferenças significativas, o tratamento antimicrobiano aumentou ligeiramente a resistência à tracção nas amostras 100%algodão e 100%poliéster, quer no sentido das colunas, quer no sentido das fileiras.

Relativamente à amostra 50%algodão/50%poliéster, com o tratamento antimicrobiano, a resistência à tracção no sentido das colunas diminui, aumentando ligeiramente no sentido das fileiras.

Capítulo V – Análise de resultados e conclusões

As características finais de um determinado artigo definem os seus limites de utilização. Os materiais têxteis são criados de modo a que respondam a requisitos pré-estabelecidos, para que quando concluídos, possam desempenhar satisfatoriamente a sua função, atendendo às necessidades do consumidor.

O presente trabalho aferiu o desempenho fisiológico de uma estrutura de malha com três composições diferentes destinadas à elaboração de uma meia inteligente que pudesse dar resposta às necessidades dos doentes diabéticos, nomeadamente, àqueles que sofrem da problemática do pé diabético, que, como já referido, é uma das complicações crónicas mais dramáticas e mais comum da diabetes, levando a um número elevado de amputações.

Com base neste enquadramento, foram produzidas três amostras: 100%algodão, 50%algodão/50%poliéster Trevira Bioactive e 100%poliéster Trevira Bioactive, as quais foram impregnadas com um nanoacabamento funcional utilizando o agente antibacteriano Silpure FBR-5, da Huntsman Textile Effects, que é composto por dois componentes diferentes, designadamente, o Silpure FBR-5 Activador (parte A) e o Silpure FBR-5 (Parte B).

Como seria expectável, o tratamento com as nanopartículas de prata revelou-se eficaz na inibição da proliferação microbiana não tendo as características originais das amostras, nomeadamente as suas propriedades superficiais, mecânicas e fisiológicos sido significativamente alteradas.

É também importante referir que os produtos utilizados no tratamento antimicrobiano estão aprovados pela Associação Internacional Oeko-Tex, garantindo por isso que não são prejudiciais à saúde humana.

Após o desenvolvimento experimental efectuado e com base na análise de dados dos resultados obtidos, podemos inferir as seguintes conclusões:

- Constatou-se a existência de actividade antimicrobiana proporcionada pelo nanoacabamento funcional, em todas as amostras testadas e para as duas estirpes avaliadas (*Staphylococcus áureos* e *Eschericia coli*), uma vez que as mesmas em contacto com o ágar inibiram a proliferação das bactérias testadas, criando um halo de inibição visível e impedindo a formação de colónias nas amostras. Não é aparentemente relevante a presença de fibras bioactivas na potenciação do efeito antimicrobiano produzido pelas

nanopartículas de prata. Estas conclusões, estão em consonância com os resultados obtidos em outros trabalhos de investigação que abordaram esta temática.

- Relativamente à permeabilidade ao vapor de água, as amostras após o tratamento antimicrobiano não apresentaram alteração significativa no seu comportamento. Contudo, nas amostras onde existe algodão surgem os valores mais altos de permeabilidade ao vapor de água, factor que é normal nas fibras naturais. Isto demonstra que as estruturas que apresentam algodão permitem uma melhor respirabilidade e portanto, maior conforto, devido a um maior fluxo evaporativo, quer a partir da pele, quer a partir da estrutura de malha;
- O exame da resistência ao pilling, denota que para todas as mostras ensaiadas a aplicação do acabamento antimicrobiano não altera significativamente os resultados obtidos e, que como seria expectável, a amostra 100% poliéster apresenta os melhores resultados. A análise destes dados permite indiciar que o nanoacabamento não modifica de uma forma expressiva as propriedades superficiais iniciais da estrutura;
- Este padrão de comportamento também se verifica na avaliação da resistência à abrasão onde se constata uma tendência de estabilização de resultados para as diferentes amostras testadas antes e após a deposição superficial do nanoacabamento. Em termos absolutos, verificamos que existe uma melhoria pouco expressiva nas amostras construídas com base numa única fibra têxtil;
- No que concerne as propriedades mecânicas de tracção efectuaram-se cinco ensaios para cada amostra, quer no sentido das colunas, quer no sentido das fileiras, tendo-se verificado uma ligeira tendência de melhoria da força de rotura no sentido das colunas acompanhada de uma leve diminuição do alongamento no sentido das fileiras, para todas as amostras ensaiadas. Este facto pode ser explicado através do ligeiro aumento de coesão mecânica da estrutura induzido pelo acabamento superficial.
- A Análise global conjugada de todas as propriedades avaliadas permite concluir que a estrutura construída em 100% algodão, poderá ser apontada como aquela que reúne as melhores características para a concepção da meia destinada à profilaxia de patologias ulcerosas no pé de pacientes diabéticos, dado que:
 - Obteve um comportamento satisfatório em todas as propriedades avaliadas;

- Apresenta características naturais mais favoráveis ao uso como sejam o maior conforto e suavidade;
- Manifesta uma muito boa actividade antimicrobiana com base no nanoacabamento depositado;
- Exibe boas propriedades fisiológicas, permitindo um arrefecimento mais rápido com uma dissipação (ou absorção) de humidade pelo pé mais eficiente;
- Reúne de forma integrada as melhores características de conforto, qualidade e funcionalidade.

ASPECTOS POTENCIADORES

O trabalho desenvolvido permitiu observar alguns aspectos extremamente vantajosos face à realidade existente:

- A tecnologia apresentada não obriga à alteração da estrutura industrial pré-existente, o que se torna vantajoso em termos de custos de produção;
- As estimativas de acréscimo de custos de produção associados às modificações propostas não são significativos o que torna este produto uma mais-valia tecnológica com um preço acessível ao cidadão “comum” (facto que é reconhecido pelo interesse do grupo industrial nortenho que pretende fabricar e introduzir esta inovação no mercado);
- Trata-se de uma tecnologia fácil de aplicar não exigindo equipamentos industriais sofisticados nem qualificações profissionais elevadas;
- As regras de segurança que a tecnologia exige são básicas, não colocando por isso em causa a segurança dos colaboradores;
- Trata-se de uma tecnologia que não tem um impacto ambiental negativo;
- Trata-se de uma tecnologia que permite combinar a tradição (meias de algodão) com inovação (funcionalizadas com nanopartículas de prata).

Capítulo VI – Perspectivas futuras

O presente estudo constitui a matriz inicial de um trabalho mais vasto, que engloba um grupo empresarial têxtil do norte de Portugal, parceiros do sistema científico e tecnológico Nacional e ainda o Centro Hospitalar da Cova da Beira. Ele será objecto de uma candidatura ao Quadro de Referência Estratégico Nacional, no âmbito de um projecto individual de I&DT.

Assim, e com vista a contribuir para a prevenção de úlceras e/ou de outras infecções que afectam os membros inferiores dos pacientes diabéticos, é objectivo complementar este estudo, com a realização de alguns trabalhos futuros tais como:

- Reforçar a acção terapêutica das nanopartículas de prata através da introdução no substrato têxtil de microcápsulas com libertação controlada de produtos dermatológicos que favoreçam a cicatrização de feridas e/ou o cuidado diário do pé dos pacientes diabéticos;
- Desenvolver novas estruturas com malhas do tipo patchwork e com uma distribuição inteligente dos materiais têxteis;
- Efectuar um estudo comparativo entre a solução tecnológica desenvolvida com outra proposta à base de nanopartículas de ouro. Estas nanopartículas estão a revelar um grande potencial nas aplicações biomédicas e também na remoção de odores;
- Prosseguir o desenvolvimento experimental já efectuado, com a concepção de um novo conjunto de experiências, com vista à aferir da fixação e da resistência à lavagem do nanoacabamento antimicrobiano aplicado;
- Complementar a avaliação da actividade antimicrobiana do nanoacabamento funcional através de um alargamento do número e da tipologia das estirpes de microrganismos estudados. Simultaneamente, deverão ser utilizadas outras metodologias de ensaio, particularmente, testes do tipo quantitativo;
- Dado o elevado número de amputações (todos os anos cerca de 50.000 diabéticos Americanos têm de se submeter a amputações de dedos ou pernas) é também propósito conceber meias com sensores de pressão piezo-resistivos (acelerómetros) incorporados, que poderão alertar o utilizador para colocar os seus pés numa posição elevada durante um determinado período de tempo. Estima-se que pelo menos $\frac{3}{4}$ das amputações relacionadas

com a diabetes poderiam ser evitadas com este simples sistema de alerta e de compensação.

- Ampliar a presente montagem experimental com uma avaliação da permeabilidade ao ar, bem como do conforto térmico ao uso, através do estudo das principais propriedades termofísicas deste inovador vestuário tecnológico;
- Estruturação de um estudo médico-epidemiológico com vista à quantificação do impacto da nova solução tecnológica na redução das infeções e na melhoria da qualidade de vida dos pacientes diabéticos.

Bibliografia

- ABQCT (Associação Brasileira de Químicos e coloristas Têxteis), Novos desenvolvimentos em têxteis de alto desempenho. J.N. Etters - Química Têxtil n° 74, mar 04.
- Afonso, G., et al., Pé diabético: prevenção e tratamento. Revista Ser Saúde, Póvoa de Lanhoso: n.º5, Maio/Junho de 2007; p.96-108, ISSN 1646-5229.
- American Diabetes Association, Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. Diabetes Care, 2007; 30:S42-47S.
- Barata, A., Oliveira, D., Importância da Consulta de Podologia na Prevenção das Complicações do Pé Diabético. Universidade Atlântica: Escola Superior de Saúde Atlântica - Monografia, 2008.
- Batista, F., Pé diabético: tratamento ortopédico interativo. Einstein: Educ Contin Saúde, 2009; 7(2 Pt 2): 97-100.
- Batista, F., Pinzur, M. S., Disease knowledge in patients attending a diabetic foot clinic. Foot & Ankle Int, 2005; 26(1):38-41, 2005.
- Bell, W.C., Myrick, M.L., Preparation and Characterization of Nanoscale Silver Colloids by Two Novel Synthetic Routes. Journal of Colloid and Interface Science, Oct 2001; v. 242, n. 2, p. 300-305.
- Beuker, B., et al., Plantar pressure in off-loading devices used in diabetic ulcer treatment. Wound Repair Regen, 2005; v.13, n.5, p.537-542.
- Bott, T. R., Fouling of Heat Exchangers. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science B. V, 1995.
- Boulton, A. J. M., et al., Guidelines for the diagnosis and outpatient management of diabetic peripheral neuropathy. Diabetic Med, 1998; v.15, p.508-514.
- Bresolin, T. M. B., Cechinel-Filho, V., Ciências Farmacêuticas: contribuição ao desenvolvimento de novos fármacos e medicamentos. Itajaí: Univali, 2003; 239p.
- Broughton, R. M., Worley, S. D., Cho U., Lin, J., Incorporation of antimicrobial materials in fabric. National Textile Center Annual Report, Available from The National Textile Center, 2707 Concord Pike, Wilmington DE 19803-2908, 2000.
- Carvalho, C.B.M, et al., Bacteriologia em Pé Diabético. Arq Bras Endocrinol Metab, 2004; 48/3:398-405.
- Casciani, R. V., Antimicrobials finishes 101: A primer for fabric developers, AATCC Review 3, 2003; 11:31-34.
- Cauqui, M. A., Rodríguez-Izquierdo, J. M. Journal of Non-Crystalline Solids, 1992; 147 & 148, 724.
- Chacra, A. R. et al., Diabete e coração. Rev. Soc. Cardiol, Estado de São Paulo, 1996; v. 6, n. 4, p. 427 - 30.
- Chacra, A. R., O uso de inibidores da aldose: redutase no tratamento e prevenção da neuropatia. Terapêutica Diabetes, 1994; v. 2, n. 5, p. 1 - 4.
- Chait, A., Bierman, E.L, Pathogenesis of macrovascular diseases in diabetes. In: KAHN, C. R., WEIR, G. C. Joslin's diabetes mellitus, 13.ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 1994; cap. 38, p. 648-64.

- Choi Wonseok and Powell Nancy, Three Dimensional Seamless Garment Knitting on V-Bed Flat Knitting Machines; Journal of Textile and Apparel, Vol. 4, Issue 3, Spring 2005.
- Citeve, Têxteis com Protecção Microbiana, em www.saberfuncionais.com, 2008.
- Consenso Internacional Sobre o Pé Diabético, 2001: Documento preparado pelo "Grupo de Trabalho Internacional sobre Pé Diabético", publicado sob a direção de Hermelinda Cordeiro Pedrosa; tradução de Ana Claudia de Andrade, Hermelinda Cordeiro Pedrosa Brasília: Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal, 2001.
- Costa, T. S., Sondoal, R. C. B., Coral, M. H. C., Marques, J. L. B., Marques, C. M. G., Análise da Pressão Plantar de Indivíduos Diabéticos com Risco de Ulceração. Memórias II Congresso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, Habana 2001.
- Dagog-Jack, S., DCCT results and diabetes care in developing countries. Diabetes Care, 1995; v. 18, n. 3, p. 416-7.
- Damm, C., Münstedt, H., Rösch, A., The antimicrobial efficacy of polyamide - 6/silver-nano- and microcomposites. Mater Chem Phys, 2008; 108:61-66.
- Defloor, T., et al., Statement of the European Pressure Ulcer Advisory Panel - Pressure ulcer classification differentiation between pressure ulcers and moisture lesions. Journal of Wound, Ostomy and Continence Nursing Sep/Oct 2005; 32 (5): 302 – 306.
- Denyer, S. P., Mechanisms of action of antibacterial biocides. International Biodeterioration & Biodegradation, 1996; 36, 227-245.
- Diário Oficial Poder Executivo - Seção I, São Paulo, 117 (209) – III, 6 de Novembro de 2007.
- Dias, R., et al., Pé diabético: clínica, eletroneurografia e baropodometria. Rev Med Reabilit, São Paulo, 1999; v.51, p.11-16.
- Direcção Geral de Saúde, Circular normativa: pé diabético, programa de controlo da diabetes mellitus. [s.l.]: [s.n.], n.º8 de 24 de Abril de 2001.
- Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes, 2007.
- Dowdell, H. R., Diabetes and vascular disease: a common association. AA C N Clin. Issues, 1995; v.6, n. 4, p. 526-35.
- Dunn, K., Edwards-Jones, V., The role of Acticoat™ with nanocrystalline silver in the management of burns. Burns, July 2004; v. 30, p. S1-S9.
- Dziworska, G., Wilk, E., Antimicrobial properties of silver content, 2005.
- Edirisinghe, M. J., Jayasinghe, S. N., Eletrodynamic atomization of concentrated nano-suspension, In: Applied Ceramic Technology: Topical focus: nanotechnology, Publication of American Ceramic Society, 2004; vol. 1 Issue 2, pp. 140-146.
- Engo, F. V. H., Nanotecnologia na Indústria Têxtil: Onde estamos e para onde vamos. Nanotec, São Paulo, 2005.
- Fajardo, C., A importância do cuidado com o pé diabético, Rev Bras Med Fam e Com, Rio de Janeiro, abr/jun 2006; v.2, n° 5.
- Feldman, C.B., et al, Sockwear Recommendations for People with Diabetes. Diabetes Spectrum, 2001; vol. 14, nº2.

- Ferreira, P.J., Albuquerque, J.M., A Nova Economia: Nanotecnologia, 2005.
- Fibras & Fatos - publicação M&G • Ano XI • nº 37 • Dezembro/2005.
- Fluhr, J., Kowatzki, D., Bauer, A., Elsner, P., Hipler, C.,Franzo, A., Performance Evaluation of Bioactive Fibrous Materials. E-Team Master Thesis, University of Minho, 2005.
- Fluhr, J., Kowatzki, D., Bauer, A., Elsner, P., Hipler, C., Silver-loaded cellulose fibers with anti-bacterial and anti-fungal activity in vitro and in vivo on patients with atopic dermatitis; 5th world textile conference, Autex, Portoroz, Slovenia, 27-29 June 2005.
- Franco, A., Performance Evaluation of Bioactive Fibrous Materials; E-Team Master Thesis, University of Minho, Guimarães, Portugal, 2005.
- Gacén, J., Fibras Higiénicas. Fibras Saludables. Boletín Intexter, Nº120, 2001.
- Gamba, M.A., Amputações por diabetes mellitus uma prática prevenível? Acta Paul. Enf, 1998; v.11, n.3, p.92-100.
- Garcia, M. J., A Diabetes em Portugal e no Mundo: repercussões humanas, sociais e económicas, publicada 10 Julho 2008.
- Garrow, A.P., et al., Efficacy of multilayered hosiery in reducing in-shoe plantar foot pressure in high-risk patients with diabetes. Diabetes Care, United States, aug 2005; v. 28, n. 8, p. 2001-6.
- Gaylarde, C. C., Morton, L. H. G., Deteriogenic biofilms on buildings and their control: a review. Biofouling, 1999; 14(1), 59-74.
- Gibbs, R., Silver Colloids Do they work. [S. l.]: Edição do Autor, 1999.
- Grabowska, B., Krolkoska, H., Gandzinowski, M., Fibres and textiles in Eastern Europe, 2004; 12:62-64.
- Grossi, S. A. A., Prevenção de úlceras nos membros inferiores em pacientes com diabetes mellitus. Rev. ESE. Enf. USP, dez. 1998; v.32, 11.4, p. 377-85.
- Guerreiro, C. M. G., Bia, F. M. M., Papel do enfermeiro na prevenção de lesões. Nursing, 2006; 207, 24-29.
- Guggenbichler, J. P., Boswald, M., Lugauer, S., Krall, T. A, A New Technology of Microdispersed Silver in Polyurethane Induces Antimicrobial Activity in Central Venous Catheters. Infection, Miinchen, 1999; v. 27, Supplement 1, p. S16-S23.
- Guillén, J. G., Fibras bioactivas, antibacteria, antimoho, antiacaros; Revista de la Indústria Têxtil, 1999, 376.
- Guillén, J.G., Fibras higiénicas, Fibras saludables, Boletín intexter (U.P.C.), nº 120, 2001.
- Hench, L. L., West, J. K., Chemical Reviews, 1990; 90, 33.
- Hess, C. T., Tratamento de feridas e úlceras. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2002.
- Hiratsuka, R. S., Santilli, C. V., Pulcinelli, S. H., Química Nova, 1995 ; v. 18, n. 2, p. 171.
- Hoang-Van, C., Zegaoui, O., Pichat, P., Journal of Non-Crystalline Solids,1998; 225, 157.
- Horta, C., et al., Avaliação da taxa de amputações – consulta multidisciplinar do pé diabético. Acta Médica Portuguesa, v.16, p.373-380, 2003.

- Horta, C., Pinto, S., Pé diabético prioridade: conhecer a entidade objectivo: prevenir a amputação. *Nursing*, 2004; 184, 33-41.
- Huang, W., Leonas, K.K., Evaluation a One-Bath Process for Imparting Antimicrobial Activity and Repellency to Nonwoven Surgical Gown Fabrics, *Textile Research Journal*, 2000; vol.70, No.9, 774-782.
- IDF - International Diabetes Federation - Diabetes Atlas - 3ª Edição de 2006
- Iler, R. K., *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry*, John Wiley & Sons, New York, 1979.
- International Congress of Nanotechnology - Benefits of the Nanotechnology Revolution for Textiles - ITM EXPO • São Paulo, Brazil • July 6-7, 2005; Hohensteiner Institute.
- International World Group of Diabetic Foot – IWGDF, 2003, publicado por Jorge Ricardo de Souza Lira - Universidade Federal de São Paulo/Escola Paulista de Medicina/Fundação Universitária de Ciências da Saúde de Alagoas/Escola de Ciências Médicas de Alagoas.
- IWGDF, Holland, 1999. International Consensus on the Diabetic Foot.
- Klabunde, K. J., *Nanoscale materials in chemistry*. Chichester/England: John Wiley & Sons, Ltd. 2005.
- Kotowa, S. J., Biodeterioration of textiles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2004; 53:165-170.
- Laing, P., The development and complications of diabetic foot ulcers, *Am J Surg*, 1998; 176 (2A suppl): 11S-19S.
- Lee, H. J., Yeo, S. Y., Jeong, S. H., Antibacterial effect of nanosized silver colloidal solution on textile fabrics, *Jornal of Materials. Science*, 2003; v. 38, p. 2199-2204, 2003.
- Levin, M. E., Preventing amputation in the patient with diabetes. *Diabetes Care*, 1995; v. 18, n. 10, p. 1383 – 94.
- Lim H., Smart Underwear of Diabetic Patients, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management - Vol. 6, Issue 1, Spring 2009*.
- Logerfo, F. W., Gibbons, G. W. Vascular diseases of the lower extremities in diabetes mellitus: etiology and management. In: KAHN, C. R. ; WEIR, G. C. *Joslin's diabetes mellitus*. Philadelphia, Lea & Febiger, 1994; cap. 54, p. 970-5.
- Loureiro, M. F. F., et al., Ser diabético e vivenciar a amputação: a compreensão psico-fenomenológica. *Escola Anna Nery Revista de Enfermagem*, dez. 2002; v.6, n.3, p.475-489.
- Lux Research. Information on Nanotech Report – 5th edition. 2008., Disponível em <http://www.luxresearchinc.com/tnr.php>, acedido em 31/06/2009.
- Malerba, F.; Orsenigo, L. Innovation and market structure in the dynamics of the pharmaceutical industry and biotechnology: towards a history-friendly model. *Industrial and Corporate Change*, 11, 4, 667-703, 2002.
- Marvin, E. L., Na Overview of the Diabetic Foot: Pathogenesis, Management and Prevention of Lesions. *Int. J. Diab. Dev. Countries*, 1994; vol.14.
- Meira, G. M., A biomimética utilizada como ferramenta alternativa na criação de novos produtos, II encontro de sustentabilidade em projeto do vale do itajai, 9, 10 e 11 de Abril de 2008.

- Michielsen, S., Approaches to Controlling Micro-organisms in Hospital Textiles 4th International Conference on Safety and Protective Fabrics, IFAI event, 2004; 132-150.
- Miller, J. B., Mathers, L. J., Ko, E. I., Journal of Materials Chemistry, 1995; 5,1759.
- MJF 2000, 276. Diabetes Mellitus, Parte IV – Problemas clínicos - 4.7. Abordagem do paciente com problemas endócrinos, metabólicos e da nutrição;
- Ministério da Saúde, Plano de Reorganização da Atenção à Hipertensão Arterial e ao Diabetes Mellitus, Brasília, Brasil, 2001.
- Miquel F., Pizarro M. Tecidos bacteriostáticos, Revista de la Industria Têxtil, 406:66-70, 2003.
- Morones, J., Elechiguerra, J., Camacho, A, Holt, K, Kouri, J., Ramirez, J., Yacaman, M., The bactericidal effect of silver nanoparticles. Nanotechnology, Bristol, 2005; v. 16, p. 2346-2353.
- Morrison, M.L., Buchanan, R. A., Liaw, P. K., Berry, C.J., Brigmon, R.L., Riester, L., Abernathy, H., Jin, C., Narayan, R.J., Electrochemical and antimicrobial properties of diamondlike carbon-metal composite films. Diamond and Related Materials, jan. 2006; v. 15, n. 1, p. 138-146.
- Muhlhauser, I., Sulzer, M., Berger, M., Quality assessment of diabetes care according to the recommendations of the St. Vincent Declaration: a population based study in a rural area of Austria. Diabetologia, 1992; 35:429-35.
- Nanotecnologia Têxtil na Rhodia – 1º Congresso Nanotac business Thomas Canova, dez 2007.
- Nascimento, L. M. O., Avaliação dos pés de diabéticos atendidos em um serviço de referência localizado em Fortaleza-Ce, 2002. 101f. Dissertação (Mestrado em Saúde Comunitária) – Departamento de Enfermagem, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.
- Norma BS7209, British Standard Specification for Water Vapour Permeable Apparel fabrics, 1990.
- Norma ISO 20645 (2005), International standard, Textile Fabrics – Determination of antibacterial activity: Agar diffusion test.
- Nelson M., Shipbaugh C., The Potential of Nanotechnology for Molecular Manufacturing, Published 1995 by RAND.
- Oliveira, E.M.N. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Química. UFSC. 2006.
- Ouyang, J.H., Sasaki, S., Murakami, T., Umeda, K., Tribological properties of spark-plasma-sintered ZrO₂(Y₂O₃)–CaF₂–Ag composites at elevated temperatures. Wear, apr. 2005; v. 258, n. 9, p. 1444-1454.
- Pârvulescu, V. I., Paun, C., Pârvulescu, V., Alifanti, M., Giakoumelou, I., Boghosian, S., Rasmussen, S. B., Eriksen, K. M., Fehrmann, R., Journal of Catalysis, 2004; 225, 24.
- Paulus, W., Microbicides for the Protection of Materials. A Handbook. London, UK, Chapman & Hall, 1993.
- Pedrosa, H. C, Nery, E.S., Sena, F. V., Novaes, C., Feldkircher T. C., Dias, M. S. O., et al., O desafio do projeto Salvando o Pé Diabético: terapêutica em diabete. Bol Méd Centro B-D de Educ Diabetes, 1998; 4(19):1-10.
- Pedrosa, H. C, O Desafio do Projeto Salvando o Pé Diabético. Boletim Médico do Centro B-D de Educação em Diabetes (Terapêutica em Diabetes) Ano 4 No 19 maio/junho/julho/1998

- Pincinato, E. C., Atualizações no diagnóstico, classificação e tratamento para o diabetes mellitus (DM). Revista Brasileira de Ciências da Saúde, n.1, v.1, jan/jul 2003; p. 62-67.
- Pintado, M., Malcata, X. F., Morgado, J.; Vieira, A., Biotecnologia: um desafio de sucesso na indústria têxtil. Revista Perfil, 2004.
- Purwar, R., Joshi, M., Recent developments in antimicrobial finishing of textiles - A review. AATCC, Review 2004; 3:22-26.
- Ramachandran, T., Rajendrakumar, K., Rajendran, R., Antimicrobial textiles – Overview, IE(I)Journal-TX, 2004; 84:42-47.
- Revilla, G., et al., O pé dos diabéticos. Revista Portuguesa de Clínica Geral. Lisboa: n.º23 Set/Out 2007; p.616. ISSN 0870-7103
- Revilla, G. P., Sá, A. B., Carlos, J. S., O Pé dos Diabéticos. Rev Port Clin Geral, 2007; 23:615-26.
- Revista podológica.com, nº 8, Junho 2006; p.5;
- Revista: SBCC – Sociedade Brasileira de Controlo de Contaminação Nº26, Jan/Fev 2007; p. 24, 25 e 26.
- Rocha, M., Feridas: uma arte secular, Coimbra, 2006; 223p. ISBN 972-798-176-3.
- Roco, M.C., The US national nanotechnology initiative after 3 years (2001-2003). Journal of Nanoparticle Research, vol. 6, 1-10, 2004.
- Sader H. S., Durazzo, A., Terapia antimicrobiana nas infecções do pé diabético. J Vasc Br 2003, Vol. 2, Nº1
- Salerno, M., Landonia, P., Vergantia, R., Designing foresight studies for Nanoscience and Nanotechnology (NST) future developments. Technological Forecasting and Social Change, Oct 2008; v75, 1202-1223.
- Salvatore de Salvo, Prata Coloidal, Abril/2002;p.22;
- Sanpui, P., Murugadoss, A., Durga Prasad, P. V., Ghosh, S., Chattopadhyay, A., The antibacterial properties of a novel chitosanAg-nanoparticle composite. International Journal of Food Microbiology, Amsterdam, 2008; v. 124, p. 142-146.
- Schindler, W. D., Hauser, P. J., Chemical Finishing of Textiles. The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd, CRC, 2005; cap 15, p165-174.
- SENAI/CETIQT, A Nanotecnologia como Factor Estratégico de Inovação Competitiva no sector Têxtil; Palestra NonoTecnologia Têxtil José Maria Simas de Miranda, Engenheiro Têxtil do SENAI-CETIQT, Julho 2008.
- Serra, L. A., Pé Diabético - Manual para a prevenção da catástrofe. LIDEL 2ª edição, 2008.
- Silva, C.G., O que é a nanotecnologia?, Nanociência & Nanotecnologia, 2002, SBPC/Labjor Brasil
- Silva, P., Farmacologia. 7. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan,2006; 1398p.
- Slater, K., Subjective Textile Testing, J. Text. Inst. 1987; 88 Part 1, no 2, pp. 79-91.
- Slater, K., The Assessment of Comfort, J. Textile Inst. 1996; vol. 77, no 3, pp. 157-171.
- Smalley, R., American Scientist 85 (1997) 324 – 337.

- Smeltzer, S. C., Bare, B.G., Histórico e tratamento de pacientes com diabetes mellitus. In: BRUNNER & SUDDARTH. Tratado de enfermagem médico-cirúrgica. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002; v.2, cap.37. p.933-983.
- Soutinho, H. C., Design funcional de vestuário interior, Dissertação de Mestrado em Design e Marketing, Universidade do Minho, 2006.
- Steinmetz, M., Nanotecnologia, Centro Universitário Feevale, 2006.
- Veloso, A. J. B., Descobertas simultâneas e a medicina do século XX, 2004.
- Vinicor, F., Is diabetes a public - health disorder ? Diabetes care, 1994, v. 17, p. 22-7, Supplement. 1.
- Williams, J. F., Unchin, C., Antimicrobial functions for synthetic fibres: Recent developments. AATCC Review 5, 2005; 4:17-21.
- Woodcock, P. M., Biguanides as industrial biocides. In: Payne, K. R. ed. Industrial biocides. Chichester, John Wiley and Sons, 1988.
- Yaranova, T., et al., Performance and characterization of Ag–cotton and Ag/TiO₂ loaded textiles during the abatement of E. coli; Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, July 2006; Volume 181, Issues 2-3, Pages 363-369
- Teufel, L., Schuster, K.C., Merschak, P., Bechtold, T., Redl, B., Development of a fast and reliable method for the assessment of microbial colonization and growth on textiles by DNA quantification. J. Appl. Microbiol, 2006.
- Sabit Adanur, Ph.D., Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles, 1995, Cap. 10.1, pag.351 – Johnston Industries Group;
- Sun, G., Kim, Y. H., Durable antimicrobial finishing of Nylon fabrics with acid dyes and quaternary ammonium salt. Textile Research Journal, 2001; 71(4):318-323.
- Sun, S., Bickett, X. U. X., Williams, J. F., Durable and regenerable antibacterial finishing of fabrics with a new Hydantoin derivative. Ind Eng Chem Res, 2001; 40:1016-1021.
- Sun, Y., Chen, T., Worley, S. D., Sun, G., Novel refreshable N-Halamine polymeric biocides containing Imidazolidin-4-one derivatives. Journal of Applied Polymer Science, 2001; 39:3073-3084.
- Sun, Y., Sun, G., Durable and refreshable polymeric N-Halamine biocides containing 3-(4-vinylbenzyl)-5,5dimethylhydantoin. Journal of Polymer Science, 2001; 39:3348-3355.
- Tortora, G.J., Funke, B.R., Case, C.L., (2001) Microbiology: an introduction. 7. ed. New York: Addison Wesley Longman, Inc., 886p.

Webgrafia

- http://www.abqct.com.br/revistas/pdf/QT_74.pdf, acedido a 11/05/09.
- http://www.amicorpure.co.uk/sites/amicor/home/_resource/media_packs/portugese.pdf <http://www.ameswalker.com>, acedido a 11/05/09.
- http://www.amicorpure.co.uk/sites/amicor/home/_resource/media_packs/portugese.pdf, acedido a 15/05/09.
- <http://www.apdp.pt/complicacoes.asp>, acedido a 11/06/09.
- <http://www.avqtt.org/Articulos/antimicrobianos.pdf>, acedido a 15/06/09.
- <http://www.carreirafashion.com.br/site/inicial/noticia.asp?codigo=1099>, acedido a 28/07/09.
- <http://www.citeve.pt/bin-cache/XPQC1DD5C57846DF7273C88ZKU.pdf>, acedido a 24/07/09.
- http://www.citeve.eu/WriteDoc.asp?sid=%7BED8EEE68-D7A7-4046-A673-D724A529F769%7D&cntx=,01,0C,3C,0B,04,00XJ,41J,12,5DG,1AD,32,07,0A,18W,16,18U,08,00,05,1D,5ABC,03,02,32,1DU,03,2C,08,06,15,05C&ver=ciberSTORE_2.1.128, acedido a 11/06/09.
- <http://www.denniskunkel.com>, acedido a 11/06/09.
- <http://www.diabetenet.com.br/conteudocompleto.asp?idconteudo=3912>, acedido a 19/07/09.
- <http://www.diabeticprotrat.com.br>, acedido a 15/05/09.
- <http://www.eatlas.idf.org>, acedido a 21/05/09.
- http://europa.eu.int/comm/research/leaflets/nanotechnology/index_pt.html, acedido a 02/08/09.
- http://www.fes.br/disciplinas/fis/ES_Geriatria/SARITA-PE_DIABETICO.PPS.ppt, acedido a 21/06/09.
- http://www.forumenfermagem.org/index.php?option=com_content&view=article&id=3381:pe-diabetico&catid=182, acedido a 11/05/09.
- http://www.forumenfermagem.org/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=2489, acedido a 11/05/09.
- http://www.gruppomg.com.br/rev_fibras/FibraseFatos_32.pdf Fibras & Fatos – publicação Rodhia-ster/M&G, nº 32, Setembro 2003, acedido a 17/05/09.
- http://www.gruppomg.com.br/rev_fibras/FibraseFatos_37.pdf, acedido a 11/07/09.
- http://www.gruppomg.com.br/rev_fibras/FibraseFatos_37.pdf, acedido a 23/06/09.
- <http://www.idf.org>, acedido a 14/05/09
- http://www.inpal.com.br/pdfs/Revista_Inpal_50_anos.pdf, acedido a 11/07/09.
- <http://www.ipq.pt>, acedido a 17/05/09.
- <http://www.iso.org>, acedido a 19/05/09.
- <http://hdl.handle.net/10183/15019>, acedido a 26/05/09.
- http://lqes.iqm.unicamp.br/images/lqes_empauta_novidades_1064_nanoparticulas_prata_diario.pdf, acedido a 31-05-2009, acedido a 27/05/09.

- http://www.master.iag.usp.br/conforto/parametros_do_CT.html, acessido a 20/06/09.
- <http://www.medipedia.pt/home/home.php?module=artigoEnc&id=452>, acessido a 01/07/09
- http://www.norfarma.pt/?page=meias_diabeticos, acessido a 15/05/09.
- <http://www.nsf.gov>, acessido a 12/07/09.
- <http://www.oeko-tex.com>, acessido a 15/05/09.
- [http://www.olis.oecd.org/olis/2007doc.nsf/LinkTo/NT00000B46/\\$FILE/JT03222464.PDF](http://www.olis.oecd.org/olis/2007doc.nsf/LinkTo/NT00000B46/$FILE/JT03222464.PDF), acessido a 14/05/09.
- <http://www.polycarpet.com.br/rstat/catalogos/mais.htm>, acessido a 13/06/09.
- http://www.portugal.gov.pt/pt/GC17/Governo/Ministerios/MCTES/Notas/Pages/20090717_MCTES_Com_Nanotecnologia.aspx, acessido a 15/07/09.
- <http://www.portugaltextil.com/tabid/63/xmmid/407/xmid/34173/xmview/2/ID/34173/Default.aspx>, acessido a 30/06/09.
- <http://www.portugaltextil.com/tabid/63/xmmid/407/xmid/36008/xmview/2/ID/36008/Default.aspx>, acessido a 30/06/09.
- <http://www.pressreleasefinder.com/item.asp?id=3920>, acessido a 30/05/09.
- <http://www.public.iastate.edu/~lanphier/Nanotechnology.pdf>, acessido a 16/05/09.
- <http://www.quimicaederivados.com.br/revista/qd417/atualidades5.htm>, acessido a 19/06/09.
- <http://www.radicigroup.com>, acessido a 14/07/09.
- <http://www.relaxsan.com.br>, acessido a 20/07/09.
- <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3264&bd=1&pg=1&lg=>, acessido a 29/07/09.
- <http://www.rhovyl.com>, acessido a 20/07/09.
- http://www.saberfuncionais.com/docs/texteis_microbianos.pdf, acessido a 23/06/09
- <http://www.saude.rio.rj.gov.br/media/protocolo.pdf>, acessido a 15/06/09.
- <http://www.silvercolloids.com/Papers/IonsAtoms&ChargedParticles.PDF>, acessido a 19/07/09.
- <http://www.spd.pt>, acessido a 23/05/09.
- <http://www.steripuram.com/spanish/hydropur.html>, acessido a 21/05/09.
- <http://textilebbs.com/viewtopic.php?f=426&t=1438&p=2611&sid=cde874c906c68602e5f3b2926676ed53>, acessido a 26/07/09.
- <http://www.ultra-fresh.com.br/silpure.htm>, acessido a 15/07/09.

ANEXOS

ANEXO 1 – Fichas técnicas e de segurança do produto utilizado no tratamento antimicrobiano